



Optimalt pH-värde i åkermark för en effektiv växtproduktion

Vilka rekommendationer finns i andra nordeuropeiska länder?

Optimal pH values in arable soils for efficient crop production, what are the recommendations in other north European countries?

Kristina Wigfeldt

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Agronomprogrammet mark/växt
Institutionen för mark och miljö
Serietitel, arbetets nummer i serien • 2023:01
Uppsala 2023



Optimalt pH-värde i åkermark för en effektiv växtproduktion. Vilka rekommendationer finns i andra nordeuropeiska länder?

Kristina Wigfeldt

Handledare: Karin Hamnér, Institutionen för mark och miljö

Bitr. handledare: Malin Lovang, Lovang Lantbrukskonsult AB

Bitr. handledare: Emma Hjelm, Jordbruksverket

Examinator Johanna Wetterlind, Institutionen för mark och miljö

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete biologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronom Mark/växt
Kursansvarig inst.: Institutionen för mark och miljö
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2022
Omslagsbild:
Nyckelord: mål-pH, kalkning, jordarter, grödor

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

En effektiv, lönsam och hållbar växtproduktion vill de flesta lantbrukare i alla länder uppnå. Det är av största vikt att sträva efter ett optimalt pH då det är en variabel som påverkar de flesta kemiska reaktioner och processer i marken. Den generella rekommendationen från Jordbruksverket i Sverige gällande pH-värde ligger idag på 6,0–6,5. Syftet med arbetet har varit att undersöka hur rekommendationerna för kalkning och mål-pH ser ut i andra nordeuropeiska länder och vilket underlag dessa rekommendationer baseras på. Målet är att, om möjligt, få ett bättre underlag för de svenska rekommendationerna. De länder som undersökts i studien är Danmark, Finland, Nederländerna, Norge, Sverige och Tyskland. Många länder grundar sina rekommendationer på fältförsök och jordanalyser som gjorts. Sverige har ett relativt bra försöksunderlag, men det finns dock brister då försöken är gamla och gjordes med helt andra sorter än vad vi har idag. Det är också så att vi har ett bristfälligt dataunderlag för höga pH-värden runt 7 eftersom de flesta försök som använts inte har nått upp i så höga värden. En del nyare studier indikerar också att det skulle kunna vara positivt att höja pH-värdet över dagens rekommendationer. Rapporten är främst en litteraturstudie där material från länderna hämtats från olika institutioner liknande Jordbruksverket som finns i Sverige men även mailkommunikation och internetmöten med forskare från de olika länderna. Resultaten visade att i grova drag är rekommendationerna relativt lika i de undersökta länderna. De flesta ländernas rekommendationer för hur ett mål pH-värde sätts tar hänsyn till en jords lerinnehåll och organiska material i procent men också utifrån växtföljden på odlingsplatsen. Det gör det lite mer komplext att jämföra värden mellan länderna och det blir tydligt att rekommendationen för pH-värdet behöver sättas in i ett sammanhang där flera olika parametrar ingår. För en medelkänslig gröda, som till exempel vete, på en jord med ungefär samma lerhalt visade resultatet att Nederländerna, Tyskland och Danmark ligger något högre i sina mål-pH rekommendationer än vad Norge, Finland och Sverige gör. Vete är en gröda som odlas mer eller mindre i alla 6 representerade länderna, därför valdes just vete. Hur skulle en eventuell höjning av Sveriges rekommendationer se ut och hur skulle det påverka de grödor som odlas? Sockerbeta är en gröda som på senare år konstaterats att den trivs i ett högre pH-värde runt 7,0 medan potatisen trivs bättre i en jord med pH-värden runt 6,5. Sammanfattningsvis behövs fler försök i svenskt klimat med högre pH-värden för att se hur det påverkar grödorna men också för Sveriges del ta vara på erfarenheter från enskilda lantbrukare och företag som specialiserat sig på vissa grödor och skaffat sig en erfarenhet av nya sorter. Att utveckla kontakten med andra länder och att upprätthålla den är värdefullt för framtiden, dels hur vi kan lära av varandra och för att kunna bedriva en hållbar, lönsam och effektiv växtproduktion.

Nyckelord: mål-pH, kalkning, jordarter, grödor

Abstract

Efficient, profitable and sustainable plant production is what most farmers in all countries over the world want to achieve. It is of the utmost importance to strive for an optimal pH as it is a variable that affects most chemical reactions and processes in the soil. The general recommendation from the Swedish Agency for Agriculture, regarding the pH value, is currently 6.0–6.5. The purpose of the work has been to investigate how the recommendations for liming and target pH look like in other northern European countries and what basis these recommendations are established on. The goal is to, if possible, get a better basis for the Swedish recommendations. The countries examined in the study are Denmark, Finland, the Netherlands, Norway, Sweden and Germany. Many countries base their recommendations on field trials and soil analyzes that have been carried out. Sweden has a relatively good trial basis, but there are still shortcomings as the trials are old and were done with completely different varieties than what we have today. It is also the case that we have a deficient data base for high pH values around 7 because most of the experiments that have been used have not reached such high values. Some recent studies also indicate that it could be positive to raise the pH above today's recommendations. The report is primarily a literature study where material from the countries is taken from various institutions similar to the Swedish Agency for Agriculture, but also email communication and internet meetings with researchers from the various countries. The results showed that, broadly speaking, the recommendations are relatively similar in the surveyed countries. Most countries' recommendations for how a target pH value is set take into account a soil's clay content and organic materials in percentage, but also based on the crop rotation on the cultivation site. This makes it a bit more complex to compare values between the countries and it becomes clear that the recommendation for the pH value needs to be put into a context where several different parameters are included. For a medium-sensitive crop, such as wheat, on a soil with approximately the same clay content, the results showed that the Netherlands, Germany and Denmark are somewhat higher in their target pH recommendations than Norway, Finland and Sweden. Wheat is a crop that is grown more or less in all 6 represented countries, which is why wheat was chosen. What would a possible increase in Sweden's recommendations look like and how would it affect the crops that are grown? Sugar beet is a crop that in recent years has been found to thrive in a higher pH value around 7.0, while potatoes thrive better in a soil with pH values around 6.5. In summary, more trials are needed in a Swedish climate with higher pH values to see how it affects the crops, but also for Sweden to take advantage of experiences from individual farmers and companies that specialize in certain crops and have gained experience with new varieties. Developing contact with other countries and maintaining it is valuable for the future, partly how we can learn from each other and to be able to conduct a sustainable, profitable and efficient crop production.

Keywords: target pH, liming, soiltypes, crops

Innehållsförteckning

1.	Inledning	8
1.1	Bakgrund.....	8
1.1.1	pH-värdet i marken och dess påverkan på markens egenskaper.....	8
1.1.2	Att mäta pH-värde i jord.....	9
1.1.3	Försurande processer.....	10
1.1.4	Åtgärder för att motverka försurning.....	10
1.1.5	Kalkningsrekommendationer och mål-pH.....	10
1.1.6	Växternas optimum av pH-värde	11
1.1.7	Behov av översyn av nuvarande rekommendationer	12
1.2	Syfte	12
1.3	Avgränsning	13
2.	Metod.....	14
3.	Resultat	15
3.1	Danmark.....	15
3.1.1	Geografi och jordbruk	15
3.1.2	Jordarter.....	15
3.1.3	Kalkning	16
3.1.4	pH-rekommendationer för olika jordar och grödor.....	16
3.1.5	Underlag för de danska rekommendationerna	17
3.2	Finland	18
3.2.1	Geografi och jordbruk	18
3.2.2	Jordarter.....	18
3.2.3	Kalkning	19
3.2.4	pH-rekommendationer för olika grödor.....	20
3.2.5	Gips.....	20
3.2.6	Underlag för de finska rekommendationerna	21
3.3	Nederländerna	21
3.3.1	Geografi och jordbruk	21
3.3.2	Jordarter.....	21
3.3.3	Kalkning	22
3.3.4	pH-rekommendationer för olika grödor.....	23
3.3.5	Underlag för de nederländska rekommendationerna	24
3.4	Norge	24

3.4.1	Geografi och jordbruk	25
3.4.2	Jordarter.....	25
3.4.3	Kalkning.....	25
3.4.4	pH-rekommendationer för olika jordar och grödor.....	26
3.4.5	Underlag för de norska rekommendationerna	28
3.5	Sverige	28
3.5.1	Geografi och jordbruk	28
3.5.2	Jordarter.....	29
3.5.3	Kalkning.....	29
3.5.4	pH-rekommendationer.....	30
3.5.5	Underlag för de svenska rekommendationerna.....	32
3.6	Tyskland.....	32
3.6.1	Geografi och jordbruk	32
3.6.2	Jordarter.....	33
3.6.3	Kalkning.....	33
3.6.4	pH-rekommendationer.....	33
3.6.5	pH-rekommendationer i olika grödor	35
3.6.6	Underlag för de tyska rekommendationerna	36
4.	Diskussion.....	37
4.1.1	Rekommendationerna i de sex undersökta länderna	37
4.1.2	Underlagen för ländernas rekommendationer	39
4.1.3	Likheter i de olika ländernas rekommendationer.....	39
4.1.4	Skillnader i rekommendationerna	40
4.1.5	Begränsningar i jämförelser mellan länderna	40
4.1.6	Möjligheter och lärdom av andra länder och implementering i svenskt jordbruk.....	41
5.	Slutsats	43
6.	Tack.....	44
7.	Referenser	45

1. Inledning

Olika jordar har naturligt varierande pH-värden, dvs koncentration av vätejoner som finns i markvätskan (Fogelfors 2015). Skogsjordar och jordar som innehåller mycket organiskt material som en myr, kärr, mossor och torvmark har oftast ett lägre pH än en åkerjord eller en äng. Modermaterialet har också betydelse och kalkhaltiga jordar har högre pH-värde.

pH-värdet är en variabel som påverkar många processer i marken. Några exempel är tillgänglighet av näringsämnen för grödorna och aktiviteten av mikrober, svampar och bakterier. Det är därför av största vikt att sträva efter ett optimalt pH-värde för att kunna bedriva en hållbar, effektiv och lönsam växtproduktion. I Sverige har vi rekommendationer för mål-pH och kalkning. Dessa rekommendationer bygger till stor del på gamla försök och försöken gjordes med helt andra sorter än vad vi har idag och därför finns det anledning att se över och eventuellt uppdatera dem. Det är också viktigt att blicka ut internationellt och att se hur andra länder gör, vad de har för rekommendationer och vad de grundar sig på för att se vad det finns för möjligheter och begränsningar i att implementera kunskap, råd och praxis och på så sätt få ett bättre underlag för våra svenska rekommendationer.

1.1 Bakgrund

1.1.1 pH-värdet i marken och dess påverkan på markens egenskaper

I Sverige rekommenderas generellt ett pH-värde på mineraljordar, med mullhalt under 6 %, på 6,5 på lerjordar och 6,0 på lätta jordar. pH betyder vätepotential, vätets förmåga. I pH skalan står siffran 7 för neutral. Ju högre siffra *över* 7, desto mer basiskt. Ju lägre siffra *under* 7 desto mer surt. Oftast mäts ett pH-värde mellan 0–14. Skalan är exponentiell vilket gör att mellan varje steg i pH-skalan ökar surheten och det basiska med gånger 10 (Ehinger 2001). Jorden består av fasta partiklar och mellanrum mellan dem som kallas för porer. Hur stora partiklarna och porerna är bestäms av jordens struktur dvs. hur partiklarna sitter ihop med varandra. Det finns grovkorniga jordar som är sandiga och moiga vilka kallas enkelkornsjordar. I jordar med mycket lera sitter partiklarna naturligt ihop, en s.k. aggregatstruktur. Dessa partiklar är mer än en miljard gånger mindre än sandpartiklar (volym) (Fogelfors 2015).

I vätskan som finns i porerna och runt om jordpartiklarna befinner sig ämnen som t.ex. näringsämnen kalcium, magnesium, kalium och natrium. Dessa är i jonform, positivt laddade och kallas kationer. Eftersom lerpartiklarna oftast är negativt laddade adsorberas de positiva jonerna till dem. Då växtens rötter tar upp de positiva jonerna avges vätejoner H^+ . Koncentrationen av kationer blir lägre och pH-värdet i vattenlösningen runt roten blir lägre. (Fogelfors 2015). Det finns olika mycket kationer i en jord och hur stor andel dessa utgör av det totala antalet kationer i jorden kallas basmättnadsgrad. Det vill säga hur mättad jorden är av dessa kationer. Det här hör starkt ihop med jordens pH-värde.

Aluminiumjoner (Al^{3+}) och vätejoner (H^+) har också positiv laddning men uppvisar sura egenskaper och kallas därför ofta sura kationer. Mikroorganismer har en central roll och hjälper bland annat till med att bryta ner organiskt material. Hur aktiva de kan vara beror på pH-värdet. Från ca pH 4 till pH 8 är mikroorganismerna som mest aktiva (Eriksson et.al. 2015). pH är den variabel som påverkar mikrolivet och de kemiska reaktionerna mest i jorden (Kirchmann 2022). Mineraliseringen av organiskt material går snabbare vid ett neutralt och högt pH-värde. Kalkning förbättrar oftast en jords odlingssegenskaper. Ett optimalt kalktillstånd underlättar jordbearbetning och rottillväxt på aggregatbildande jordar, d.v.s. jordar med relativt hög andel ler. Tillgängligheten av det viktiga näringsämnet fosfor ökar, utbytbar aluminium minskar. Vid alltför höga pH-värden (över 7,5) kan tillgängligheten av till exempel fosfor och vissa mikronäringsämnen som mangan, zink och bor försämrats. Dessa ämnen behöver inte växten så stor mängd av men de är nog så viktiga. (Jordbruksverket 2021).

Ämnen som riskerar att bli otillgängliga för växten vid för lågt pH-värde är tex. fosfor, svavel och kväve som växten behöver i större mängder. Fosfor är mer känsligt och värden under pH 6.0 kan leda till brist av tillgänglig fosfor för grödan. Kalium, kväve och svavel är som sagt inte lika starkt påverkade av pH även om de bakterier som omvandlar ammonium till nitrat inte trivs vid ett pH under 5,5.

Det är viktigt att betona att forskningen visar på att kalk och gödsel kompletterar varandra, det ena kan inte bytas ut med bara det andra. (Erstad 2012).

1.1.2 Att mäta pH-värde i jord

pH-värdet i jord kan mätas på olika sätt. I Sverige görs detta genom att man skakar jord med destillerat vatten, oftast i proportion 1:5. Efter en timme mäter man pH-värdet med en pH-meter och får fram ett värde mellan 0–14. Av de länder som undersökts mäter även Finland pH-värde med denna metod i vatten. De övriga länderna Danmark, Nederländerna, Norge och Tyskland blandar jord med kalciumklorid ($CaCl_2$) i stället för vatten vilket ger ett relativt lägre mätvärde för samma jord. Mätmetoden skiljer alltså mellan länder och pH-värden är därför inte direkt jämförbara. Genom att addera 0,5 enheter till ett pH-värde mätt i kalciumklorid går det att ungefärligen uppskatta vilket pH-värde det motsvarar enligt metoden mätt i vatten (Jordbruksverket 2021).

1.1.3 Försurande processer

Det pågår försurningsprocesser i jorden. Några exempel på detta är surt regn, gödsling med ämnen som innehåller ammoniumkväve (NH_4^+) (Jordbruksverket, 2021). Reducerande och oxiderande processer (vätejonförbrukning respektiveproduktion) sker hela tiden (Eriksson et.al. 2015). Genom nitrifikation av ammonium bildas nitrat. Detta ger en försurande effekt eftersom vätejoner frigörs i processen, vilket har en direkt effekt om nitraten inte används och tas upp av grödan utan tvättas ut från marken. Om nitrat tas upp av grödan kommer växten att utsöndra CO_3 (karbonat), som har en alkalisk effekt (Knudsen 2004).

Även om baskatjoner lakas ut ur marken kan pH-värdet vara stabilt på grund av jordens buffringsförmåga. I jordar som är finkorniga och rika på lättvittrade mineral kan pH förbli på en hög nivå under en längre tid. I mer långsamt vittrande jordar kan pH däremot sjunka påtagligt inom några decennier om intensiteten i de försurande processerna är hög av till exempel intensiv lakning eller surt regn (Eriksson 2015). När växtrester förs bort ifrån jorden och när man skördar är effekten att jorden gradvis blir surare eftersom växten tagit upp baskatjoner och näring via rötter.

1.1.4 Åtgärder för att motverka försurning

För att motverka att pH-värdet i en jord sjunker kan man till exempel lämna kvar halm i jorden vid skörd. Mikroorganismer och maskar som lever i jorden bryter ner dött material som gör att de baskatjoner och anjoner växten tagit upp frigörs igen vilket bidrar till att upprätthålla pH-värdet. Gödselmedel innehållande kväve i form av nitratkväve (NO_3^-) har också en pH-höjande verkan.

Det effektivaste sättet om man vill höja pH-värdet i jorden är att tillföra kalk. Ju mer finmald kalken är desto fortare förväntas det att den verkar.

Kalkbehovet blir olika på grund av jordarternas olika buffringsförmåga vilket gör att det behövs mer eller mindre kalk för att höja pH-värdet tex en enhet. Det är då viktigt att ha en aktuell markkarta för att kunna behovsanpassa tillförsel av näring och kalk. Med markkartering menas jordprovtagning och analys av växtnäring samt pH-värde kopplade till en karta över fälten (Jordbruksverket 2021). En regelbunden provtagning av jordprover är en bra metod för att bestämma pH-värdet och hjälper till att bedöma behovet av kalktillförsel. Beroende på jordart varierar det hur ofta prover tas. Lerjordars pH-värde sjunker långsammare då lerinnehållet i jorden buffrar. Ju tyngre lera desto långsammare förändring. Rekommenderat intervall ligger på ca 5–15 år där det längre intervallet ofta används på lerjordar medan det kan vara aktuellt för provtagning med kortare intervall på sandjordar (Rekommendationer för gödsling och kalkning 2022).

1.1.5 Kalkningsrekommendationer och mål-pH

I Sverige ges rekommendationer ut kring vilket pH-värde som lantbrukaren bör sträva efter, så kallat mål-pH. Detta arbete görs av Jordbruksverket och presenteras i skriften "Rekommendationer för gödsling och kalkning" samt av Markkarteringsrådet genom God markkarteringssed. I god markkarteringssed

finns också information om vad som rekommenderas ska ingå i en normal markkartering (God markkarteringssed 10–2019).

Sverige har ett relativt bra försöksunderlag som ligger till grund för de rekommendationer som finns idag. De grundar sig främst på 28 långliggande fältförsök från ett 80-tal olika platser av Sverige och representerar ett brett utbud av svenska jordarter (Haak och Siman 1992). Försöksperioden varade mellan 1981 och 1991. Stråsäd var den dominerande gruppen av grödor, men även vall och andra grödor ingick i studien. Långtidsförsök med kalkning upp till 55%-, 70%-, och 100% basmättnadsgrad. Basmättnadsgraden kom inte riktigt upp i dessa värden men i närheten. Korrelationen mellan kalkbehov och innehåll av ler respektive organiskt material baseras på dessa försök. Kalkbehovet (ton/ha) beräknas som den tillförda mängden kalk fördelat på pH-höjningen i varje försök (Haak, Siman 1992). Resultaten visade att för svenska mineraljordar är det relevant att uppnå en basmättnadsgrad på omkring 70% för att bevara dem i god fertilitet och produktion. De högsta pH-värden man kommit upp till i dessa sammanhang ligger på ca 6,8 enligt tabeller i rapporten. Vårgrödorna gav störst respons på kalkningen. Det finns ett positivt samband mellan basmättnadsgrad och markens pH. Väldigt enkelt uttryckt innebär att en låg basmättnadsgrad motsvaras av ett lågt pH-värde och vice versa. En jord som redan naturligt har pH-värde 7 har basmättnadsgraden 100%. (Eriksson 2015)

Tidigare redovisning, av resultat från 7 permanenta kalkningsförsök omfattande en 24-årsperiod och som utfördes 1962–1982, visade säkra skördeökningar vid kalkning till 70 % basmättnad för stråsäd, vall och oljeväxter, för stråsäd och vall även till 100 % basmättnad (Siman, 1985, 1989).

Normalt bör det kalkas om pH-värdet understiger mål-pH med 0,3–0,5 enheter (Jordbruksverket, 2021)

Mål-pH minskar med ökande mullhalt på mineraljordar. Återigen, då det finns gott om organiskt material i jorden bidrar det till att pH-värdet inte sjunker lika fort på grund av mikrolivets aktiva nedbrytningsförmåga av döda växtdelar och näring frigörs. På mycket mullrika mineraljordar bedöms att mål-pH bör ligga cirka 0,5 pH-enheter lägre än på måttligt mullhaltiga jordar. På mulljordar ligger mål-pH cirka 1–1,5 pH-enheter lägre än på mineraljord (Jordbruksverket 2021).

1.1.6 Växternas optimala pH-värde

Olika jordbruksgrödor och grönsaker har olika optimum vad gäller pH-värde för en god tillväxt. Vissa grödor har ett högre optimum som till exempel sockerbeter där rekommenderat pH-värde är 7,0 medan rekommendationen för potatis ligger lägre, närmare 6,5 (Jordbruksverket, 2021). För lerjordar är viktigt att de inte kryper ner för lågt i pH, helst inte under 6,5 då det annars är risk för att aluminium löses ut i markvätskan och skadar växtens rötter och risk för upptag av aluminium från markvätskan ökar. (Krogstad 2022). Vid ett pH-värde över 6,3 föreligger aluminium i olöslig hydroxiform, $\text{Al}(\text{OH})_3$ och kan inte tas upp av växten. pH-

optimum ligger därför högre i lerjordarna än vad de gör i sand- och organiska jordar enligt forskare i Norge och Sverige menar Krogstad och Kirchmann¹.

1.1.7 Behov av översyn av nuvarande rekommendationer

Även om det finns ett relativt stort underlag till de nuvarande rekommendationerna så finns det vissa brister i att försöken som gjorts är gamla och genomfördes med helt andra sorter än vad som odlas idag. Det finns också ett bristfälligt dataunderlag för något högre pH-värden, på omkring 7, eftersom de flesta försök som genomförts inte har nått upp till så höga värden (Mattsson 2010). Därför är det oklart vilken effekt dessa högre värden har på produktionen. Nyare studier indikerar också på att det skulle kunna vara positivt att höja pH-värdet över dagens rekommendationer (Börjesson & Kirchmann 2022).

För ca 10 år sedan togs ca 12 000 jordprover i matjordslagret i Syd- och Mellansverige med syfte att ta fram en ny och förbättrad jordartskarta. Forskare på SLU, Sveriges lantbruksuniversitet har tillsammans med SCB:s nationella skördestatistik sett en del intressanta samband (Kirchmann, Börjesson, Bolinder, Kätterer & Djodjic 2020). I studien hittades att det var högre skördar på jordar med ett högre pH än rekommenderat jämfört med skörden på jordar med rekommenderat pH (intervallet 6,0–6,5 beroende på jordart och gröda). Grödor som höstvetete, höstraps, vårvete och råg var med i utvärderingen. Potatisen däremot mår bra av ett pH-värde mellan 6,0–6,7. Sockerbetor har det varit känt en tid att de ger högre skördar vid ett pH-värde ca 7. Det behövs fortfarande fler nyare försök och försök med högre pH-värden för att se hur olika grödor reagerar på detta samt vad som är ekonomiskt motiverat.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka hur rekommendationerna för kalkning och mål-pH för lantbruksgrödor ser ut i andra nordeuropeiska länder och vilket underlag som dessa rekommendationer baseras på. Målet är att få ett bättre underlag för svenska rekommendationer.

1. Hur ser rekommendationerna ut för mål-pH och kalkning i andra nordeuropeiska länder som Norge, Finland, Danmark, Tyskland och Nederländerna och vilka underlag finns för dessa rekommendationer?
2. Hur skiljer sig rekommendationerna för olika jordarter och grödor?
3. Vilka möjligheter och begränsningar finns i att implementera rekommendationerna från andra länder och jordbruk?

¹ Tore Krogstad Dr och professor i jordkemi och växtnäring vid Norges biovetenskapliga universitet. Holger Kirchmann, professor i växtnäringlära och markvård vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Mailkommunikation 202205 om lerjordar och pH.

1.3 Avgränsning

För att arbetet inte ska bli alltför omfattande har följande länder tagits med i litteraturstudien: Danmark, Finland, Nederländerna, Norge, Sverige och Tyskland. Fokus har legat på att få fram vilka rekommendationer som finns för pH-värden i olika jordar och för olika grödor med hänseende till lerinnehåll och organiskt material.

2. Metod

Rapporten är främst en litteraturstudie. Faktaunderlag har också inhämtats genom e-postkonversationer och samtal med forskare i markkemi, växtnäring, markvård och miljövetenskap från de olika länderna.

Danmark: Leif Knudsen som jobbar på SEGES innovation som chefsrådgivare för gödsling

Finland: Kari Yliviano PhD Naturresursinstitutet LUKE som specialforskare.
Rasa Kimmo dr i jord och skogsbruk på Naturresursinstitutet LUKE

Nederländerna: Willem van Geel jobbar som forskare på Wageningen university & research (Institutet för tillämpad växtforskning)

Norge: Tore Krogstad jobbar som Dr och professor i jordkemi och växtnäring vid Norges biovetenskapliga universitet och Karl-Jan Erstad PhD jordkemi, rådgivare och forskare vid Consultative agronomists

Sverige: Holger Kirchmann, professor i växtnäringlära och markvård vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala (SLU).

Tyskland: Hansgeorg Schönberg Dr och professor, jordbruk och växtnäring och jobbar som föreläsare, författare och konsult. Grundare av N.U. AGRAR GmbH
Ferenc Kornis växtrådgivare på N.U. AGRAR GmbH

Handledare och biträdande handledare har gett förslag och hjälpt till med information och relevanta artiklar om forskning i ämnet.

Material från de olika länderna har bestått av liknande institutioner eller myndigheter som motsvarar Jordbruksverket i Sverige, från universitet samt forskningscentra. Ett möte med representanter från Norge, Sverige, Nederländerna och Tyskland hölls på Zoom där pH-värden och rekommendationer delades och diskuterades. Tyvärr var tiden för kort för en mer omfattande diskussion vid tillfället. Möten via nätet med forskarna enskilt har också hållits.

3. Resultat

3.1 Danmark

Yta: 43 094 km²

Inv. antal: ca 5 831 404 miljoner (Landguiden, 2020)

3.1.1 Geografi och jordbruk

Danmark är ett bördigt, låglänt, delvis backigt moränland med en medelhöjd över havet på 30 meter. De högsta naturliga punkterna är Möllehøj, Yding Skovhøj och Ejer Bavnehøj som alla tre är 171 meter höga och ligger nära varandra i det skog- och sjörika ”höglandet” på mellersta Jylland. En stor del av den 730 mil långa kusten består av sandstränder, i synnerhet i väst. Det finns kuststräckor med krita- eller moränklinter, strandängar och skog (so-rummet 2022). I Danmark finns färre antal jordbruk än i Sverige men Danmark har i stället storskaliga jordbruksföretag både vad gäller ekonomi och snittareal. Mer än 60% av landarealen utgörs av jordbruksmark. Av den totala arealen utgörs 5% av gräsmarker.

Växtproduktionen är främst inriktad på spannmål, majs och vallväxter - grödor som går till djurfoder på grund av stort antal djur, men även råg, korn, havre och potatis för humankonsumtion. De är självförsörjande på både krita och kalksten (Jordbruksverket i siffror 2021).

3.1.2 Jordarter

Landet är starkt påverkat av det omgivande havet. Det är en stor blandning av sand, grus, lera och kalk. 25% av odlingsarealen har ett lerinnehåll på under 10%, 30% har mellan 10–15% lerinnehåll och 7–8% innehåller över 15% ler. Humusjorden (över 10% humus) utgör ca 8% av odlingsarealen (Knudsen 2004). Här en enkel tabell, (tabell 1), hur jordklasserna delas in i 6 olika kategorier med hänsyn till andelen lerinnehåll i procent.

Tabell 1. Jordklasser i Danmark, indelade i 6 olika kategorier. Andel ler presenteras i procent.

Jordklass	Lerinhåll %
1–2	< 5
3–4	5–10
5–6	10–15
7	15–25
8	25
11	mulljordar (mer än 10% humus)

3.1.3 Kalkning

Förbrukningen av kalk ligger i nuläget på ca 500 000 ton / år, vilket är mer än en halvering sedan 70–80-talen. Det finns därför goda skäl att överväga om kalkförbrukningen idag är tillräcklig för att upprätthålla markens bördighet och om befintliga kalkningsriktlinjer bör revideras (Knudsen 2004).

Den kalk som används mest är kalciumkarbonat utvunnet från jordlager på Nordjylland. Härifrån är kalken mjuk och har en hög reaktivitet. På Själland utvinns kalken från det östliga Själland. Där är kalken mer hård och behöver finfördelas mer än kalken från Jylland för att säkra att den blir lika reaktiv. Från 1990–2009 ses ett något sjunkande pH-värde i Danmark, särskilt på Jylland där man kan se fallande pH-värden på ca 0,5 enheter. En förklaring till att det inte sjunkit lika mycket på Själland kan vara att förbrukningen av ammoniumkväve har minskat med drygt 100 000 ton vilket skulle motsvara användningen av ca 700 000 ton kalk för att bibehålla samma pH-värde. Tabell nr 2 nedan, visar hur stor mängd kalk som gått åt för att höja pH-värdet 0,1 enheter i Danmark för olika jordar. Tabellen är en enkel modell om inte variationerna är så stora inom ett fält. Kalken som används mest är dolomitkalk, även kallad kalsurkalk i Danmark.

Tabell.2 Ton Dolomitkalk för att höja reaktionstalet 0,1 enheter på olika typer av jordar i Danmark. (Mätmetod H₂O)

Jordtyp	Reaktionstal / pH-värde		
	5–6	6–7	7–8
	Ton dolomitkalk		
Mineraljord, generellt	0,5	0,7	0,9
Lerrik jord eller humusrik jord (5–10% humus)	0,6	0,8	1,0
Humusjord	1,2		

Det bör tilläggas att om det är väldigt lågt innehåll av humus läggs 0,2 enheter till. Vid högre % innehåll av humus >3,5% dras 0,2 enheter ifrån.

3.1.4 pH-rekommendationer för olika jordar och grödor

Danmark använder CaCl₂-metoden vid mätning av pH. I denna informationsdel om Danmark har Knudsen, (författaren till Kalkningsvejledning 2004), omvandlat

värden i tabellerna nr1-3 till H₂O-metoden genom att addera 0,5 enheter till de uppmätta värdena.

Riksförsök man gjort i Danmark är, bland andra, de “Danske Landsforsokene” från 1978, 92 olika försök med vårkorn. Försöket visade att vid ett utgångsläge på pH 6,8 sjönk pH-värdet med i genomsnitt 0,3 enheter de kommande fem åren, dvs till ett genomsnittligt värde på 6,5 om ingen kalk tillfördes. Efter dessa 5 år började man också kalka jorden med kalsurkalk, 5 ton / ha och år och tog sedan på nytt prover, 10 år efter anläggning. Resultatet visade att pH stigit med 0,4 enheter. Medel i pH-värde låg på 7,0 (H₂O). Slutsatsen om meravkastning vid kalkning av dessa försök med applicering av kalk, som refereras ovan, tyder på att merutbytet av kalkning på mineraljord vid ett pH-värde över 5,8 är 0–1 hkg per ha och år 1: a till 4:e året efter kalkning. Generell rekommendation av mål-pH i Danmark ligger mellan 6,0–6,8 (H₂O) (Knudsen 2004). Grödor har olika krav på mål-pH och hur toleranta eller känsliga de är för låga pH värden och reaktionstal

Grödor som är: 1). *mycket toleranta*: råg, havre, gräs och potatis

2). *medel toleranta*: vete, majs, rödklöver, vitklöver, lupin och raps

3). *känsliga*: korn, ärtor. lucern och betor (Knudsen 2004).

Tabell nr 3, nedan, har dragits ihop till 4 olika jordarter för att få en ungefärlig översikt, vilket även gjorts i källan till tabellen.

Generella rekommendationer för pH-värde för odling i Danmark (Knudsen 2004).

Värden gäller för *medeltoleranta grödor som vete, majs, rödklöver, vitklöver, lupin och raps* i de fyra olika jordklasserna. För de mycket toleranta grödorna är rekommenderat pH något lägre och för de känsliga grödorna ligger pH-värdet ca 2 enheter högre i intervallen (tex för Jordklass 5-6 är pH 6,5-6,9) och för de toleranta grödorna ligger pH-värdet ca 2 enheter lägre i intervallen (tex i Jordklass 5-6 är pH 6,1-6,5)

Tabell 3. pH-optimum för medeltoleranta grödor i Danmark t ex. vete.

Mätning enl. H₂O-metoden

Jordklass	pH-värde (H ₂ O)
1-4	6,0-6,3
5-6	6,3-6,7
7-9	6,6-6,9
11	5,0-5,4

3.1.5 Underlag för de danska rekommendationerna

I Danmark baseras rekommendationerna gällande mål-pH och kalkning på en rad olika försök och som exempel nämns här De danske landforsokene (Olesen, J. (red): Oversigt over Landsforsøgene, 1978, Aarhus, 1979), vilka pågick i ca 10 år och innehöll 92 olika försök med vårkorn.

En forskare vid namn Leif Knudsen har under senare år utarbetat en vägledning för kalkning och mål-pH där han samlat olika försök och undersökningar i detta ämne (*Kalkningsvejledning*, Knudsen, L. 2004).

3.2 Finland

Total landareal: 338 430 km²

Invånarantal: 5 530 719 miljoner (Landguiden 2022).

3.2.1 Geografi och jordbruk

Finland kallas för de tusen sjöarnas land i och med att hela 10% av landet består av insjöar och älvar. Landet har också stora skogsområden som täcker nästan två tredjedelar av ytan. Större delen av Finland är kuperat lågland. De odlade åkrarna omfattar 2,26 miljoner ha, totalt 7,4 % av landarealen. Västra och södra Finland har högst andel odlad areal. Norra Finland (Lappland) har endast 1,9 % av den totala odlade arealen. I östra och norra delarna produceras mycket mjölk medan jordbruket i södra och västra delarna av landet domineras av spannmålsproduktion och djuruppfödning för köttproduktion (SO-rummet 2022). Mest odlade grödor är korn, vete, havre, råg och potatis. Dominerande markstruktur är grova mineraljordar (allt ifrån grusmorän till ljus mjäla) men betydande regionala skillnader finns beroende på geologi och ursprung. I södra delarna av landet har jorden mer lerinnehåll, på västkusten dominerar de organiska jordarna och norrut består större delen av organiska och grova mineraljordar (Kari Ylivainio et al. 2014). Mineraljordar i Finland innehåller i genomsnitt 15% organiskt material, men då inräknat skogsmarkerna (Viljavuuspalvelu 2008)

3.2.2 Jordarter

I Finland ges pH-rekommendationer ut av analysföretaget Eurofins och mål-pH är i dessa beroende på jordart. Tabell 4 visar rekommendationer för mål-pH för två jordklasser. Ett mål pH har satts utifrån mullhalt, här är mullhaltig jord mellan 3–5,9%.

Tabell 4. Mål-pH för Finland i olika jordklasser för en jord med ca 3–5,9 % mullhalt. Mätmetod H₂O-metoden. (Jordanalysresultat Eurofins, 2021). Data för övriga mullhalter visas i Bilaga 1.) Dessa två klasser är vad som generellt rekommenderas.

Egenskap jordgrupp	God bördighet	Mycket god bördighet
Lerjordar	6,4–6,9	6,9–7,2
Grova mineraljordar	6,2–6,6	6,6–7,0
Mulljordar	5,8–6,2	6,2–6,6
Torvjordar	5,6–6,0	6,0–6,4

Jordarna indelas i olika klasser beroende på mullhalt i matjordslagret, i %.

Mullfattig <3%, mullhaltig 3–5,9 %, mullrik 6–11,9 %, mycket mullrik 12–19,9 % Mulljordar > 20%, torvjordar > 40%. Ju högre mullhalt desto lägre mål-pH. (se bilaga 1). Det som visas i tabellen ovan är pH för två bördighetsklasser och här visas pH-värden för god och mycket god bördighet. Klasserna heter dålig, rätt dålig, försvarlig, tillfredsställande, god, mycket god, betänkligt hög vilket alltså syftar på mkt lågt pH-värde upp till ett mkt högt pH-värde. (Viljavuusalvelu & Eurofins 2008). Lerhalten för ovan nämnda jordar är inte angiven i % för de olika jordarna. Enda lerhalt som framkommer är när förstavelsen lilla l, vilket betyder lerig, står framför en jord. Lerhalten för de flesta odlingsbara jordar i Finland ligger på ca 15–30%. Enligt en äldre studie från 1980 är rekommendationerna i lerjordar och grova mineraljordar för god bördighet ett pH-värde på 6,2–6,6, (KURKI 1977 se Ylärinta, Mäntylähti 1980).

3.2.3 Kalkning

Jord och skogsbruksministeriet menar att skördeökning som kan uppnås med kalkning ligger på ca 10–20 % för spannmål om man utgår ifrån ett pH-värde ca 6,0 som är vanligt i Finland idag. Åkrarna i Finland kalkas fortfarande alldeles för lite och de borde fästa större uppmärksamhet vid jordens bördighet och struktur enligt Ylivainio.² Under åren 1982–1991 genomfördes två försök vid Lantbrukets forskningscentrums forskningsstationer i en serie där avkastningen på vårsäd och klöverrikt gräs undersöktes. Resultatet visade att vid kalkning upp till pH 6,2 på mineraljordar och upp till 5,85 på organiska jordar gav det en merskörd på 50–100 kg/ha per 0,1 ökad pH-enhet. (Kemppaineini, E. et al. 1993)

² Kari Ylivainio forskare på LUKE, Natural resources Institute. Zoom konversation 2205.

3.2.4 pH-rekommendationer för olika grödor

Tabell 5. pH-rekommendation i Finland för olika grödor. Intervallet visar för mullrik jord det lägre värdet, för mullfattig jord det högre värdet. Vänstra kolumnen visar värden från Viljavuuspalvelu. Högra kolumnen visar värden enligt finska Nordkalk. Mätt enligt H₂O-metoden. (Viljavuuspalvelu 2008).

	Enligt Viljavuuspalvelu	Enligt finska Nordkalk
	Mullrik-mullfattig	Grov mineraljord
Socketbeta	6,4-7,7	7,1
Vete	6,0-7,7	6,8
Ärt	6,1-7,1	6,8
Oljeväxter	5,9-7,5	6,4
Rödklöver	5,6-7,2	6,8
Korn	5,7-7,2	6,8
Råg och gräs	5,4-7,0	6,4
Havre och potatis	5,1-6,7	Havre 6,4, potatis 6,2

Generell pH-rekommendation för att odla olika grödor är ett medelvärde på 6,0–6,5 (Viljavuuspalvelu 2008). Siffrorna i tabell 5 är från 2008 och siffrorna i tabell 3 från Eurofins 2011 ligger något högre. pH-rekommendation skiljer sig också beroende på vilken gröda som ska odlas och i vilken typ av jord som finns på odlingsplatsen.

I en rapport “Improved farm economy and sustainability” var en av punkterna som togs upp “the dynamics of soil pH and liming”. Lehtonen säger i rapporten att vi skulle kunna potentiellt öka skördarna minst 20% om vi investerar i våra jordar. Rapportens var syftet att utvärdera den ekonomiska lönsamheten för investeringar i markreovering och i samarbete med finska lantbrukare i deras vardag om att investera i bland annat jordförbättring vad gäller markpackning, dränering och kalkning i fråga om pH (Purola & Lehtonen 2020). pH-värdena i finska jordbruksmarker ligger vanligtvis mellan 4,5 och 6,5, medan det mest fördelaktiga pH-intervallet för de flesta växter är 6,5–7,5. Markens pH, som påverkas av kalkningsbeslut, påverkar skörden i varje åkerskifte (Viljavuuspalvelu 2008).

3.2.5 Gips

Gips förekommer i naturen som ett mineral som kan brytas. Det är också är en biprodukt från fosforsyraindustrin.

Det är vanligt att man använder gips i Finland och sprider i åkermark. Det används som en vattenskyddsåtgärd för att minska fosforförluster och erosion i leriga fält. Fler långvariga försök behövs för att utröna eventuella negativa effekter med gipset. Det innehåller Kalciumsulfat men gipset påverkar inte pH-värdet (Valkama 2022).

3.2.6 Underlag för de finska rekommendationerna

För de finska rekommendationerna vad gäller mål-pH och kalkning har dels två rapporter från forskningscentrum för jordbruk tagits med (Kemppaneini, E. et.al. 1993). *Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon, (Effekten av kalkning på skördar av spannmål och gräs)*. Ytterligare kompletteras det med ett något äldre forskningsmaterial som bestod av 196 timotejgräs från olika delar av landet, jordprov tagna från jordbearbetningsskiktet 5-15 cm (Ylärinta, Mäntylähti 1980).

3.3 Nederländerna

yta: 41 526 km²

inv. antal: 17 441 13 (Landguiden 2021)

3.3.1 Geografi och jordbruk

Nederländerna är ett väldigt produktivt litet och platt land. Namnet betyder de "låga länderna" och drygt en fjärdedel av landet ligger under medelhavsnivån. Till ytan är det något större än landskapet Småland i Sverige (landguiden 2021). Landets högsta punkt heter Vaalserberg, 322,7 m över havet och ligger i sydöstra delen nära gränsen till Tyskland och Belgien. Det nederländska jordbruket särskiljer sig ifrån det svenska främst när det gäller deras omfattande animalieproduktion och den utbredda odlingen av rotfrukter. Tulpanerna från Amsterdam är känt över hela världen. Landet är en ledande handelsnation och i Rotterdam ligger en av världens största hamnar. De har efter USA och Frankrike det största värdet av exporterade jordbruksprodukter i världen. (Jordbruketisiffror 2012). Åkerarealen uppgår till drygt 1 miljon hektar. De grödor som odlas mest är potatis, vete, sockerbetor, korn och majs.

3.3.2 Jordarter

Trots sin lilla landareal har Nederländerna många olika jordarter

1. Zand, dalgrond och veen vilket betyder Sandjordar, daljordar och torvjordar. Hänsyn tas till hur mkt organiskt material jorden innehåller.
2. Övergångsjordar är tussen zand och rivierklei som betyder mellansand och flodlera. Lerhalten är under 10%. Även lössjordar är en typ av övergångsjord
3. Mellansand och flodlera med olika lerinnehåll från <8% upp till jordar med över 35% lerinnehåll.
Närmare kusten finns marin lera och havssand. (Bodem en Bemesting 2022)

En markkarta över landet visar att jorden är naturligt surare inåt landet mot öst än vad den är västerut mot kusten. Medelvärdet i pH ligger på 5 inåt landet respektive pH-värde 6 västerut. (Helfenstein, Mulder, Heuvelink & Okx 2022)

3.3.3 Kalkning

Önskat pH beror på gröda, jordart, innehåll av organiskt material i jorden, lerhalt och växtföljd. Underhållskalkning utförs vanligtvis årligen för att bibehålla pH-nivån (Bodem en Bemesting 2022). Med en reparationskalkning höjer man pH-värdet till önskat pH, som i så fall är en följd av en markundersökning. Ett högt pH är vanligtvis inte möjligt att uppnå på naturligt surare jordar tex med mull över 25%. I allmänhet rekommenderas inga appliceringar större än 8000 kg CaO per ha. I övergångsjordar, sjölera/täcksand är den angivna jordarten avgörande för vilket kalkningsråd som ska ges. Övergångsjord med lerhalt < 5 % rekommenderas på samma sätt som flodlera med lerhalt < 8 % eller som täcksand. I tabellen nedan kan vi se hur mycket kalk som behöver tillsättas för att uppnå önskat mål-pH för flodlera, lössjordar och sjölera. Mål-pH är 6,6 CaCl₂-metoden vilket motsvarar ca 7,1 för H₂O-metoden.

Tabell 6. Kalkmängd som behöver tillsättas för att nå upp till önskat mål-pH 6,6 (CaCl₂-metoden) i Nederländerna. (7,1 uppskattat med H₂O-metoden) utifrån ett utgångsvärde pH-6,4 (H₂O: pH 6,9). Exempel endast med flodlera, lössjordar och sjölera. (Bodem en Bemesting 2022)

Organiskt material %	2,0–2,9	3,0–4,9	3,0–4,9
Lerhalt %	25–34	35–44	45–54
Kalk kg /ha	410	880	2900
Organiskt material %	5,0–7,4	5,0–7,4	7,5–9,9
Lerhalt	35–44	45–54	45–54
Kalk kg /ha	240	1100	310

Fler procentvariationer av lerhalt och organiskt material i olika jordarter finns i nederländernas rekommendationer. (Bodem en Bemesting 2022).

I rekommendationen ger de råd att applicera kalkning på åkermark helst på hösten, så att nedbrytningen av skörderester främjas (Bemestings Advies, 2022). Nedanstående tabeller (nr 7–8) visar rekommenderade pH-värden för olika jordarter och för de flesta grödor som odlas förutom potatis vilken har ett lägre mål-pH ca 6,0–6.5 (H₂O).

Tabell 7. Nederländernas rekommenderade pH-värden i marinlera, havssand, flodlera och lössjord. Gäller för de flesta grödor förutom potatis vilken ligger lägre i önskat mål-pH. Mätningar enligt CaCl₂-metoden. (Bodem en Bemesting 2022)

		Organiskt material i %	pH CaCl ₂	pH H ₂ O
Lerinnehåll %	<8	1,0–1,9	6,7	7,2
		5,0–7,4	5,6	6,1
		25–29	4,6	5,1
Lerinnehåll %	8–12	1,0–1,9	>6,7	>7,2
		5,0–7,4	>5,8	>6,3
		25–29	>4,7	>5,2
Lerinnehåll %	12–18	1,0–1,9	>6,7	>7,2
		5,0–7,4	>6,0	>6,5
		25–29	>4,8	>5,2
Lerinnehåll %	25–30	1,0–1,9	>7,1	>7,6
		5,0–7,4	>6,7	>7,2
		25–29	>5,2	>5,7

Tabell 8. Nederländernas rekommenderade pH-värden i Flodlera med lerinnehåll på <12% Mätning enligt CaCl₂-metoden, uppskattning pH-H₂O längs till höger. (Bodem en Bemesting 2022)

Lerinnehåll i %	pH CaCl ₂	pH H ₂ O
<8	6,1–6,4	6,6–6,9
8–12	6,3–6,6	6,8–7,1
>12	6,5–6,7	7,0–7,2

3.3.4 pH-rekommendationer för olika grödor

Rekommendationerna bygger på en mängd mycket gamla försök från 1930–1967 menar van Geel.³ 1946 gjordes en studie med titeln:

“Påverkan av lerinnehåll och andra faktorer med optimalt pH på marina lerjordar.” Grödor som ingick i försöken var vete, foderbetor, sockerbetor, potatis, havre, korn, ärtor, bönor, gul senap, majs, klöver, lin, höstråg och lusern. Totalt genomfördes 38 försök utspridda på de marina lerorna i landet. Förhållandet mellan avkastning och markens pH mätt i KCl₂- metoden plottades i diagram. pH-förändringar som resulterade i skördeökningar mättes. Då undersökningar skulle jämföras stötte man på problem då mätningar innan 1950 var gjorda i H₂O och värden efter 1950 i KCl-metoden. Detta löstes med en uppskattning av värdena. Det finns en liten skillnad mellan de mätta värdena av dessa två metoder. Baserat på en stor mängd data från företaget Eurofins Agro så drar de slutsatserna i

³ Willem van Geel, professor, researcher agronomy and soil science at Wageningen university and research, Zoom-möte 220507.

jämförelsen av metoderna, enligt denna beräkning: $\text{pH-CaCl}_2 = 0,9288 * \text{pH-KCl} + 0,5262$. Ett par av resultaten i försöken var att i sockerbeter och bönor ökade skörden markant (mätt i H₂O- metoden) då pH-värdet höjdes från 5,0 till 7,0 och för bönor ökade avkastningen med ca 50%. För sockerbeterna blev ett ökande pH-värde från 4,0 till 7,0 en ökande avkastning med ca 32%. Potatisens avkastning minskade 10% på grund av höjning av pH-värdet från ca 6,0 till 7,0. pH-KCl har varit den metod som använts länge i Nederländerna, men för 10 år sedan ändrade det största laboratoriet i landet för jord och växtanalyser, Eurofins Agro, till pH-CaCl₂-metoden som är standardmetod nu enligt van Geel.⁴ För att omvandla värden från pH-KCl metoden till den som görs i vatten behöver alltså ca en enhet läggas till (K.Boskma 1967). Det finns fler försök, vilka inte redovisas i skrivandes arbete, från åren 1959, 1972 och 1974.

Det optimala pH-värdet skiljer sig mellan grödor. I en växtföljd måste man hitta ett ekonomiskt optimalt pH som beror på grödorna och deras andel i växtföljden och deras ekonomiska avkastning. I den fullständiga tabellen (se exempel i bilaga 2) anges värderingen av pH för olika växtföljder med en viss mängd stärkelsepotatis och sockerbeter. Spannmålen i växtföljden antas vara enbart korn. Finns mycket potatis i växtföljden för de olika jordtyperna tas det hänsyn till det i planering för ett optimalt pH-värde, då potatis föredrar det lägre pH-värdet i intervallet. Är det jordar som "Lichte zavelgronden" d.v.s. lätt leriga jordar som innehåller mindre än 17,5 % lerpartiklar och de dessutom har en låg halt av organiskt material har de en benägenhet att krympa vid torra väderlekar och svälla mycket vid blöt väderlek. Eftersom dessa lätta lerjordar är känsliga för dispersion och erosion lägger man ofta pH-värdet 0,3 enheter högre för att få en bättre struktur i jorden (Bodem en Bemesting 2022).

3.3.5 Underlag för de nederländska rekommendationerna

De nederländska rekommendationerna för mål-pH och kalkning baseras på en del äldre försök som pågått sedan 1930–1967. Grödor som ingick i försöken var bland andra vete, havre, korn, sockerbeta, majs mfl. (Boskma, K. 1967, *De invloed van het gehalte aan afslibbare delen en andere factoren op de optimale pH van kleigrond*). Rapporten är från Groningen: Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.

3.4 Norge

Yta: 323 878 km²

Inv. antal: 5 379 475 (Landguiden 2020)

⁴ Willem van Geel, professor researcher agronomy and soil science at Wageningen university and research, mailkonversation 220621.

3.4.1 Geografi och jordbruk

Norge är ett land med mycket berg och dalar, fjordar och vikar.

3% av Norges samlade areal är brukad jord och ca 39% täcks av skog (Kartverket 2018). På trettio år från 1989–2018 minskade antalet jordbruk med 30%. Från att i genomsnitt varje gård hade ca 147 dekar (daa) så har det ökat till 249 dekar jordbruksareal /gård vilket motsvarar ca 14,7 ha respektive 24,9 ha. (Krogstad 2022). Dekar förekommer ofta som en enhet i Norge och en dekar är samma som 1000 m². Det går alltså 10 dekar på ett hektar

Jordbruksmarkens fördelning är gräsmark (äng och betesmark) 66%, spannmål 29% och andra växter tex grönsaker och potatis mm är 5%.

Av sädeslagen är korn är en huvudgröda i Norge och odlas på ca 44% av sädeslagsarealen. Vete kommer efter med ca 34% och på 18% odlas Havre. På de resterande 4% odlas råg och andra arter som tex majs och rågvete.

3.4.2 Jordarter

Jordarter i Norge är liknande som i Sverige, men inte lika stor andel tunga lerjordar. Mineraljorden är huvudsakligen fördelad på moränjordar och marina leror. Det är sällsynt att lerhalten överstiger 40 %. De marina lerorna har ofta en lerhalt på 20–40 % och moränjordarna en relativt jämn fördelning mellan lera, silt och sand menar Krogstad.⁵ Jordarterna har underklasser beroende på innehåll av lera och organiskt material. Ju högre andel organiskt material en jord innehåller desto högre kalkgiva för att nå det för grödan optimala pH-värdet. För en översikt över Norges klassificering av jordarter relaterat till innehåll av lera, silt och sand (se bilaga nr 3 med Jordartstriangel). I utgångspunkt är många av Norges jordar sura dvs ligger på ett pH-värde 6,0 eller lägre. (Krogstad 2017)

3.4.3 Kalkning

I Norge tog staten bort de bidrag lantbrukare tidigare fick för underhållskalkning varvid kalkningen i landet gått ner. De har återigen tagit upp detta stöd på senare år varvid också kalkningen gått upp. Kalkförbrukningen i Norge uppgick till 200 000 ton år 2012. Jämfört med 70–80 talen på 500 000 ton är det fortfarande lägre förbrukning. (Norges handbok för plantekultur og kalkning, 2012). Den vanligaste kalken man använder i Norge är Dolomitkalken. Den innehåller en del Magnesium, ett ämne det över lag är brist på i Norges jordar. Skalsandskalk används också. Strukturkalkning har man inte i Norge som en praxis. Statistik för tillförseln av kalk i jordbruksmark visar på en viktig och lovande återhämtning efter många år av märkbar försurning. Mattilsynets kalkstatistik för 2020 visade på en så stor ökning i kalkanvändning som 37 % jämfört med 2017. (Norgesfor handbok plantekultur 2021–22).

I Norge är det ca 40% av åkermarken som arrenderas av lantbrukare vilket gjort att varken de som hyr eller äger marken har velat lägga ekonomi på dränering,

⁵ Tore Krogstad, Dr och professor i jordkemi och växtnäring vid Norges biovetenskapliga universitet. Mailkonversation 202205 om jordarter.

vilket vi vet är en grundläggande förutsättning för en god markstruktur och för grödans välmående både näringsmässigt och i konkurrensen mot ogräsen och för att markens pH ska hållas stabilt. Krogstad anser att lägga sig på en nivå för generellt pH-värde på 6,5 skulle vara optimalt för de flesta grödor.

I Norge ser man ett behov av att se över sina rekommendationer. Nedan beskriver en annan forskare hur han ser på rekommendationerna i Norge. Erstad ⁶ menar att de buffrade mineraljordarna och dess grödor kan öka avkastning om pH-värdet går upp mot 7,0 utan att jorden behöver lida brist på mikronäringsämnen eller att fosforläckage blir för stort. På de organiska jordarna och de mer mullrika jordarna kan man hålla sig till lägre värde. (Erstad, 2012). Erstad hänvisar bland annat till forskare i Sverige som Holger Kirchmann och försök i Norge, på sädesslaget korn, vilket utfördes på några hundra lantbruk med och utan bevattning, där ett pH-värde närmare 7 med bevattning gav procentuellt de bästa skördarna. I en slutsats av Krogstad säger han: -”Det finns en hel del litteratur om sur jord som skadar rötter på spannmål, men det är svårt att hitta bra siffror på vad detta har att säga för skörden. Att kalkningen kommer att öka skörden av korn om pH-värdet höjs på jordar som har så lågt pH-värde som 6,0 råder det inga tvivel om. En vettig strategi vore att kalka sur jord minst 0,3 enheter över den kritiska pH nivån där det ska odlas spannmål med utgångspunkt från korn som den mest känsliga sorten” (NIBIO rapport, Krogstad 2017).

Tabell 9. Kalkbehov i kg CaO ekv. /daa, (se förklaring ovan av daa vilket betyder dekar), för att höja pH en enhet på mineraljordar med ökande buffertkapacitet i Norge (lera och massa-% organiskt material). OM är förkortning av organiskt material. (Norges handbok för plantekultur 2008)

Jordart	Mullfattig 0–3% OM	Mullhaltig 3–6% OM	Mullrik 6–20% OM	Mineralblandad Mulljord 0–3% OM
Sand, silt	100	200	300	450–600
Lättlera	200	300	400	550–650
Mellanlera	300	400	500	600–700
Styv lera	400	500	600	650–700

3.4.4 pH-rekommendationer för olika jordar och grödor

Tabell 10 är en sammanställd tabell där vi ser lägsta värden av pH krav för olika grödor. Värdena är som en utgångspunkt för de generella värdena. Ca 0,3–0,5 enheter lägre än mål-pH (tabell 11). Med mål-pH menar vi det som man bör höja jordens pH till genom att kalka.

Tabell 10. Lägsta rekommenderade pH-värden i Norge för att det inte skall påverka skörden negativt. (NIBIO rapport 2017, Krogstad). Värden enligt CaCl₂-metoden. Värden inom parentes uppskattade enligt H₂O-metoden

Korn	Vete	Havre och råg

⁶ Karl-Jan Erstad, forskare PhD vid Consultive Agronomist. Zoom-möte 202205, angående pH-värde.

Sand / siltig sand	5,8 (6,3)	5,6 (6,1)	5,2 (5,7)
Sand/ morän med <10% ler	6,0 (6,5)	5,8 (6,3)	5,4 (5,9)
Silt	5,8 (6,3)	5,6 (6,1)	5,2 (5,7)
Lättlera/ mellanlera	6,2 (6,7)	6,0 (6,5)	5,6 (6,2)
Styv lera	6,4 (6,9)	6,2(6,7)	5,8 (6,3)

Om jordarna skulle ligga en halv enhet högre i pH det vill säga pH-värde ca 6,5 så skulle spannmålsskördarna öka med minst 5% (NIBIO Rapport 2017).

Tabell 11. Mål-pH för ett antal grödor i mineraljord i Norge (Mänt enligt H₂O-metoden), (Norges handbok för plantekultur 2008).

Gröda	pH-värde
Foderbetor	6,5–7,3
Kålväxter	6,5–7,0
Rödklöver	6,2–7,0
Vete och korn	6,0–6,5
Havre	5,8–6,3
Timotej och ängssvingel	5,8–6,5
Potatis	5,5–6,0

Krogstad⁷ menar att kalkningen är nödvändig och att Norges jordar i allmänhet ligger för lågt i pH värde. Ett högre pH-värde är väldigt centralt för att få en god avkastning En av de känsligaste växterna för lågt pH i Norge är korn.

I en rapport utarbetad av Researchprojekt AGROPRO (*Agronomy for increased foodproduction in Norway, challenges and solutions*) finansierat av bland andra NIBIO, *Norsk Institutt for Bioökonomie*, har man analyserat 25,000 jordprover främst i Trøndelag och öst Norge. De flesta proverna som togs låg på ett pH på 6,2 vilket också kan vara en orsak till skördeminskningar av korn som är en pH-känslig gröda. Krogstad⁸ berättar att, problem de haft med provtagningar historiskt, är att de laboratorier för pH mätningar i Norge lades ner och Eurofins tog över. När sedan prover skickats till Tyskland för mätningar så uppdagas att mätningar gjordes på olika sätt. De mätningarna som gjorts i Tyskland var med dubbelt så mycket vatten dvs. 10 ml jord blandas med 50 ml vatten i stället för vanligtvis 25 ml i Norges laboratorier. Skillnaden var inte jättestor men betyder att det ytterligare kan vara något lägre pH-värden runt 6,1 enligt de nya mätningarna från Eurofins. (Eurofins, ISO-10390:2021)

Ytterligare ett försök gjordes 2001, i Grönlund i Norge, med sädesslaget korn där man försökte optimera flera faktorer samtidigt. (Erstad 2012, Grönlund 2001).

⁷ Tore Krogstad, Dr och professor i jordkemi och växtnäring vid Norges biovetenskapliga universitet. Zoommöte 202205

⁸ Tore Krogstad, Dr och professor i jordkemi och växtnäring vid Norges biovetenskapliga universitet. mailkonversation 202205 om jordprover

Man kan inte fastställa att detta pH-värde 6,55 och 7,09 (skrivet om nedan) har samband med kalkningen men att det har stora samband med näringsutnyttjandet för grödan och redoxförhållanden i jorden är konstaterat. En variansanalys med på 4405 gårdar med och utan vattenanläggning gjordes på olika platser i Norge. Resultatet visade maximal skörd på i genomsnitt 365 kg/daa på 3708 gårdar *utan* bevattning vid ett pH-värde på 6,55 (H₂O). Ytterligare 697 gårdar *med* bevattning nådde maximal skörd vid ett pH-värde på 7,09 (H₂O) på i genomsnitt 410 kg/daa.

3.4.5 Underlag för de norska rekommendationerna

I Norge baseras inte rekommendationerna för mål-pH och kalkning på långliggande försök utan hänvisar till bland annat ett arbete med 25 000 jordprover och analyser tagna i de viktigaste spannmålsområdena, i Norge under perioden 2009–2015 Krogstad, T. (se NIBIO rapport, vol.3 nr 87, 2017 sid. 27) opublicerade data.

Andra undersökningar man också tittat på är jämförelse av olika kalkningsmedel i sammanhanget med findelningsgradens betydelse för jord och grödor. ”Sammenlikning av noen norske kalkingsmidler i sammenheng med findelingsgradens betydning for virkninga på jordreaksjon og plantevekst Hovedoppgave ved NLH, Institutt for jordkultur. 216 s. (Jørgensen / (Erstad), K.-J 1982). Ytterligere eksempel av något äldre undersökningar från 1984 vilka visar kalkverkan på olika jordar av snäckskalsandtyp som det finns gott om längs norska kusten. (Olsvik, E. 1984. Undersøkelse av skjellsandforekomster og kalkvirkning av skjellsandtyper fra Troms. Hovedoppgave ved NLH, Institutt for jordkultur).

3.5 Sverige

Yta: 450 295 km²

Inv. antal: 10 353 442 (Landguiden 2021)

3.5.1 Geografi och jordbruk

Sverige är ett av Europas större länder till ytan och består till största delen av skogar, berg och sjöar. Polcirkeln, som utgör gräns för midnattssolen, skär genom Sveriges nordligaste del. Det är ett avlångt land, och längs större delen i nordväst går den skandinaviska fjällkedjan som gränsar mot Norge. Här uppe från bergen, med bergstoppar på över 1500 meter, rinner älvar och floder ner mot sydost ut i Bottenviken och Bottenhavet. Sveriges kuster präglas av en rik skärgård med tusentals öar. Klimatet varierar stort inom landet med lång, kall vinter i norra delarna. Dock är den korta sommaren förhållandevis varm. Södra Sverige har ett maritimt klimat, vilket är mildare än i norr, och vintrarna här är ibland fattiga på snö. (SO-rummet 2022). Av Sveriges landyta är andelen jordbruksmark ca 7,4%. Andelen skogsbevuxen yta är ca 68,7% (Landguiden 2021)

Grödor som odlas mest är spannmål med höstvet i täten följt av korn, havre och råg. Av baljväxter-ärter och av oljeväxter odlas mest raps och rybs. Potatis odlas i hela landet medan sockerbetor odlas i södra Sverige. (Jordbruksverket, 2021)

3.5.2 Jordarter

Svensk åkermark består av många olika jordarter. Jordtexturen varierar från sandiga jordar till tunga leror. Variationen av dessa kan även finnas inom ett fält.

En undersökning med titeln ”Tillståndet i svensk åkermark och gröda” (Eriksson 2021), gjordes mellan åren 2011–2017. Den beskriver på ett kvantitativt och ytrepresentativt sätt tillståndet i svensk åkermark. Åkermarksinventeringen / karteringen innefattar markens organiska material, syra/bas-status, fosfor- och kaliumtillstånd och spårelementinnehåll samt halter av makro- och mikroelement i höstvet, vårkorn och havre. Detta var ett tredje omtag från tidigare undersökningar. Sammanlagt 2039 provpunkter från olika delar av Sverige har provtagits fördelat på fyra delprovtagningar. I alla provpunkterna har ett prov tagits från matjorden (0–20 cm). Alvprov (40–60 cm) har också tagits i provpunkter. Omfattande analyser har gjorts. Av jordarna som analyserades hade 80 % ett pH i intervallet 5,6 – 7,1. Trettiofem procent av det totala antalet jordar hade ett pH som låg 0,3 enheter eller mer under det mål-pH för olika jordarter som anges i Jordbruksverkets rekommendationer för gödsling och kalkning. För mer statistik se länk i referenser.

I en äldre undersökning i matjorden 0–20 cm av 3100 jordprover, från olika delar av Sverige, låg medel pH-värdet på 6,3. Det fanns dock stora skillnader vad gällde jordart. Av de analyserade jordarna hade 14% ett pH-värde på 7,0 eller över, 29% på 6,0 eller lägre och 6% av jordarna hade ett pH-värde 5,5 eller lägre. Det högsta värdet var jordar med kalkrika modernmaterial och de lägsta värdena var organiska jordar.

(K.Gustavsson, 1997)

3.5.3 Kalkning

Den vanligaste kalken är kalciumkarbonat (CaCO_3) från kalksten och krita.

Hur mycket kalk som behöver tillföras en jord för att åstadkomma en viss pH-höjning kan uppskattas utifrån lerhalt och mullhalt.

I äldre svenska kalkförsök, ”fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad” (1981–1991), (vilket nämndes i stycket ”bakgrund”), undersöktes kalkningens effekt på vanliga lantbruksgrödor (stråsäd, vall, raps, potatis, ärter och sockerbetor) på fastmarksjordar. När försöken startade låg pH mellan 5,0 och 6,1 och försöksleden kalkades som mest upp till pH mellan 6,1 och 6,8. Kalkens positiva skördeeffekt var högre hos vårsäd än hos höstsäd. Hos vårsäden var merskörden lägst för havre (Haak & Simån, 1992). Numera precisionskalkas de flesta jordar i Sverige vilket innebär att gödselgivor och kalkgivor anpassas inte bara för olika fält utan även inom fälten. Det gör att det

optimeras inom fältet varvid varje del av fältet får vad det behöver. Det är både en fördel vad gäller ur miljöhänsyn och ur ekonomisk synvinkel.

3.5.4 pH-rekommendationer

Den generella rekommendationen i Sverige ligger på ett pH-värde mellan 6,0–6,5, Rekommendationen baseras på jordarten. Olika jordtyper behöver olika mängd kalk för att förändra pH, även inom fältet, för att nå ett mål pH-värde.

Tabell 12. Mål-pH enligt svenska rekommendationer utifrån jordart och mullhalt (Jordbruksverket 2021)

Mullhalt (%)	Förkortning	Sand & Mojordar <5 %	Leriga jordar 5–15 %	Lättlera 15–25 %	Mellan-lera 25–40%	Styv lera 40–60%	Mycket styv lera >60%
<6	mf / nmh / mmh	6,0	6,2	6,3	6,4	6,5	6,5
6–12	mr	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,2
12–20	mkt mr	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	5,9
20–40	minbl mullj	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,6

mf=mullfattig, nmh=något mullhaltig, mmh=måttligt mullhaltig, mr=mullrik, mktmr= mycket mullrik
minbl. mullj= mineralblandad mulljord

Tabell 13. Kalkbehov för att höja pH-värdet med cirka 0,5 enheter inom pH-intervallet 5,0–6,5 (Gustafsson, 1999 & Gustavsson, 1999 Jordbruksverket 2021). Eftersom kalkstensmjöl har en kalkverkan motsvarande cirka 50 % CaO innebär till exempel 2 ton CaO per hektar i tabellen att man ska tillföra 4 ton kalkstensmjöl per hektar.

Mullhalt (%)	Förkortning	Sand & Mojordar <5 %	Leriga jordar 5–15 %	Lättlera 15–25 %	Mellanlera 25–40 %	Styv lera 40–60 %	Mycket styv lera >60 %
<2	mf	0,5	1	2	3	4	5
2–3	nmh	1	1,5	2,5	3,5	4,5	5
3–6	mmh	1,5	2	3	4	5	5,5
6–12	mr	2,5	3	4	5	6	7
12–20	mkt mr	4	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5

Ytterligare exempel på försök, förutom det som nämndes ovan i avsnittet om kalkning 3.5.3, som gjorts i Sverige är "Mark- och skördeeffekter i de permanenta kalkningsförsöken" under en 20-årsperiod, 1962–1982, (Sima 1985,1989). Ytterligare exempel är ett kalkförsök där det studerades hur kalkvärde fungerar under fältförhållanden. Försöksserien genomfördes under en åttaårsperiod där ett stort antal kalkprodukter. Avgörande för kalkeffekten är produkternas geologiska ursprung och deras kornstorleksfördelning. Beroende på vart man brutit kalken och varifrån produkten har sitt ursprung, geologiskt sätt, så påverkar det hur stor kalkeffekten blir och även fördelningen av kornstorlek på kalkmaterialet är avgörande. Försöken utfördes på 16 olika platser i Sverige. Det som visades i resultaten var att mjuka kalkprodukter var mer reaktiva än hårda och att det är samma förhållanden som råder mellan krossade och finmalda produkter. Kalkvärdet, vilket anges på kalkprodukten, baseras på dessa förhållanden. Kalkning påverkade också skördarna. Man uppmätte från fem upp till sju procent skördeökning i genomsnitt efter att man kalkat. I undersökningen såg man också att skördeökningarna höll i sig fyra år efter kalkning. Under de resterande 4 åren, under vilken försöksperioden varade, uppmättes ingen ytterligare skördeökning utan minskade eftersom. Detsamma gällde även för basmättnadsgraden. (Mattson 2010)

3.5.5 Underlag för de svenska rekommendationerna

De svenska rekommendationerna för mål-pH och kalkning grundar sig på en del äldre försök bland annat långliggande fältförsök mellan åren 1981–1991 med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad (Haak & Sima'n 1992). Som komplement till dessa försök nämns också ett tidigare försök också det från Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Försöket undersökte mark och skördeeffekter i permanenta kalkningsförsök under en 20-årsperiod, 1962–1982 (Sima'n, 1985, Sima'n 1989).

3.6 Tyskland

Yta: 357 112 km²,

Inv. antal: 83 240 525 (Landguiden 2021)

3.6.1 Geografi och jordbruk

Tyskland är något större än Finland. Grovt sett kan tre landskapstyper urskiljas med olika klimat: nordtyska låglandet, mellantyska berglandet och alpområdet. I norr påverkas landet av kusten vid Östersjön, längre söderut är det inlandsklimat och allra längst ner i Tyskland börjar alperna.

Tyskland har en omfattande jordbrukssektor. Ca 1,6 % av den tyska arbetskraften är sysselsatt inom jordbruket. De har en hög rationalisering och mekanisering. De grödor som odlas mest är vete, korn, råg, majs, sockerbetor och potatis.

Vetearealen i Tyskland överstiger hela Sveriges jordbruksareal. De har även omfattande gris och nötköttsproduktion (Jordbruket i siffror 2012).

3.6.2 Jordarter

I Tyskland delas jordarna upp geologiskt i 31 jordtexturer (DBG, German Soil science society, se VDLUFA 2021). VDLUFA är (på engelska) en förkortning av Association of German Agricultural Investigation and Research Institutions.

Inom agrara sektorn delas de upp i 5 olika jordklasser med hänsyn till jordens textur (TEX 1–5) och 4 klasser för organiskt material, (SOM 1–4). Jordar vars organiska material övergår 30% räknas som en egen klass. Dessa kommer ej vara med i fortsatt diskussion då de anses för sura för att kalkas upp till ett bra pH-värde (VDLUFA 2022).

3.6.3 Kalkning

För att veta hur mycket kalk som behövs undersöks först jordens förutsättningar, aktuella pH och vilken gröda som ska odlas. Jordar med ett optimalt pH värde och tillräcklig tillgång på kalk är jordar som håller sig bördiga på lång sikt.



Korrelationen mellan pH, jordtextur, halt organiskt material och storlek på skörd är viktigt enligt VDLUFA. (MDPI, agronomy, 2021) (Leibniz Institute of Vegetable and ornamental crops 2021) Jordarna är klassade till vad som anses behöver hög tillsats och låg tillsats av kalk. De är ordnade från A-E, i så kallad pH-kalkstatus. A och B är jordar som ligger under optimalt pH och behöver hög tillsats av kalk. B behöver något mindre än A-jorden. C är den jord som anses ha en god tillgång på kalk o har ett optimalt pH-värde. D och E är jordar som har högre värden än optimalt. Jord C är en jord som enbart behöver underhållskalkas regelbundet och relateras till maximal skörd där förutsättningar är optimala vad gäller markstruktur, näringstillgänglighet. Tyskland betonade vikten av grynstrukturutveckling med kraftigare kalkning, därmed bättre rotutveckling och högre skördenivåer (VDLUFA 2000)

3.6.4 pH-rekommendationer


Med ett ökande lerinnehåll desto högre rekommenderade pH-värden. Ökande innehåll av organiskt material desto lägre pH-värde. (VDLUFA, 2000)

Tabell 14. Mål pH-värden för Tyskland i 6 olika jordtyper med hänsyn till lerhalt och humushalt.

Beroende på vilken gröda som odlas används de lägre respektive högre mål- pH värdena i intervallen. Mätningar gjorda enligt CaCl₂-metoden. Siffrorna inom parentes uppskattade enligt H₂O-metoden (VDLUFA 2000)

Jordart	Lerhalt%	Humus%				
Textur						
		<4%	4,1–4,8	8,1–15,0	15,1–30,0	> 30,0 %
		pH	pH	pH	pH	pH
1. Sand	<5%	5,4–5,8 (5,9–6,3)	5,0–5,4 (5,5–5,9)	4,7–5,1 (5,25,6)	4,3–4,7 (4,8–5,2)	
2. Svagt Lerig sand	5–12 %	5,8–6,2 (6,3–6,5)	5,4–5,9 (5,9–6,4)	5,0–5,5 (5,5–6,0)	4,6–5,1 (5,1–5,6)	
3. Starkt lerig sand	12–17 %	6,1–6,7 (6,6–7,2)	5,6–6,2 (6,1–6,5)	5,2–5,8 (5,7–6,3)	4,8–5,4 (5,3–5,9)	
4. Sandig siltig lerjord	17–25 %	6,3–7,0 (6,8–7,5)	5,8–6,4 (6,3–6,9)	5,4–6,1 (5,9–6,6)	5,0–5,9 (5,6–6,4)	
5. Lerig lerjord till ler	>25%	6,4–7,2 (6,9–7,7)	5,9–6,7 (6,4–7,2)	5,5–6,3 (6,0–6,8)	5,1–5,9 (5,6–6,4)	
6. Torvjord						4,3–4,8 (4,8–5,3)

Tabell 15. För Tyskland, kalkmängd som behövs för att bibehålla ett bra pH-värde. Dessa värden gäller för klass C. Övriga jordklasser A, B, D och E har andra värden och annan kalkmängd (dt CaO/ha). pH-värde enligt CaCl₂-metoden. (VDLUFA 2021)

	Humus% 							
	<4		4,1–4,8		8,1–15,0		15,1–30	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
Sandjord	5,4– 5,8	6	5,0– 5,4	5	4,7– 5,1	4	4,3– 4,7	3
Svagt,lerig sand	5,8– 6,3	10	5,4– 5,9	9	5,0– 5,5	8	4,6– 5,1	4
Starkt,lerig sand	6,1– 6,7	14	5,6– 6,2	12	5,2– 5,8	10	4,8– 5,4	8
Sandig,till siltig lerjord	6,3– 7,0	17	5,8– 6,5	15	5,4– 6,1	13	5,0– 5,7	6

Olika metoder jämförs och praktiseras för vad som är fördelaktigt ekonomiskt och miljömässigt vad gäller kalkning. Att kalka marken utifrån medelvärde kan vara oekonomiskt då arealerna är väldigt stora. På dessa stora sammanhängande ytor med ofta mycket heterogena markförhållanden så anses det en fördel att göra en precisionskalkning, enligt DLG- merkblatt, DLG är förkortningen av Deutsche-Landwirtschaft-Gesellschaft som betyder tyska jordbrukssällskapet. De ger ut ”merkblatt” vilket är foldrar med information vilka uppdateras eftersom.

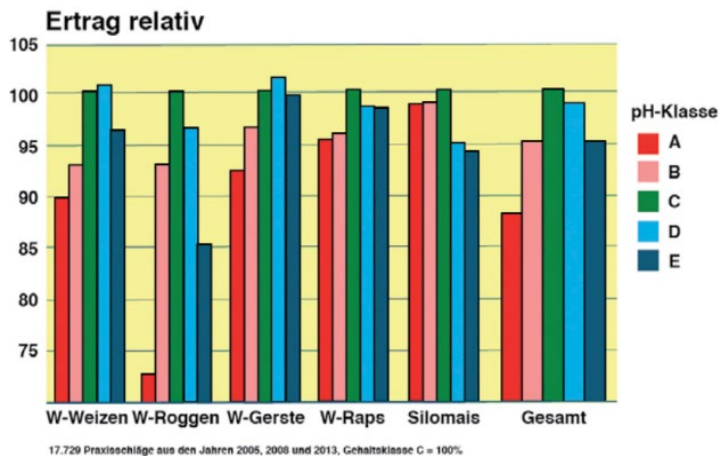
Precisionskalkning föregås av en noggrann markkartering med undersökning av näringsämnen i jorden vilket också är en kostnad.

3.6.5 pH-rekommendationer i olika grödor

Grödor med höga kalkanspråk som trivs i högre pH-värden är enligt tyska rekommendationer höst och vårkorn, foder och sockerbetor, majs, höst och vårraps, lucern, rödklöver, senap, åkerböna, sojaböna, rödbetor och vit lupin. Grödor med mindre anspråk på kalk är vete (durum och dinkel), höst och vårråg, havre, potatis, lin, gurka, tomat, gul lupin, morötter och kålrot. pH-värden under 5,0 leder initialt till syraskador på rötterna, vilket sedan kan påverka den totala växttillväxten. (DLG, 2021)

Tysklands rekommendationer grundar sig på många försök enligt DLG- Merkblatt (2021) och hänvisar till VDLUFA som är Föreningen för tyska jordbruksanalys- och forskningsinstitut med bland andra långvariga försök mellan 1980–1990. (Determination of the Lime Requirement of Arable and Grassland Soils; VDLUFA, 2000). I ytterligare en undersökning av skördenivåer i de olika pH

klasserna A-E för grödorna vete, råg, korn, raps och majs visades att skördarna var som högst i den jord där pH varit optimalt för grödan, i jord C. I jordar i klass A var skördeförstär på 12% och i jord B på 5%. Även vid pH-nivåer över det optimala var skörden lägre. Största skördeförstärna noterades i höstråg i de jordar där pH var under det optimala. Mätningar gjordes i 17 729 försöksfält under åren 2005, 2008 och fram till år 2013. Försöken är från Sachsen. (Dr.Grunert 2015. DLG- Merkblatt 2021)



Figur 1. Skördenivåer i Sachsen- Tyskland, för de olika pH-klasserna A-E

Figuren är hämtad från Dr.Grunert 2015. se DLG-Merkblatt 2021

3.6.6 Underlag för de tyska rekommendationerna

I Tyskland grundar sig rekommendationerna för mål-pH och kalkning på långvariga försök som varade mellan åren 1980–1990

(Determination of the Lime Requirement of Arable and Grassland Soils, (VDLUFA 2000) där nämns denna källa: Kerschberger med flera, 09/1999 VDLUFA,

4. Diskussion

Alla länder är väldigt eniga om att ett optimalt pH för en effektiv växtproduktion är en väldigt central fråga inom jordbruket. Att kalka jorden ses som grundläggande för att förhindra försurning och att få en bättre struktur. Rekommendationerna i de sex undersökta länderna har både likheter och skillnader vad gäller rekommendationer för olika jordarter och grödor. Det finns både möjligheter och begränsningar att implementera andra länders rekommendationer in i det svenska jordbruket.

4.1.1 Rekommendationerna i de sex undersökta länderna

I den undersökning och material som analyserats och utvärderats visar att ländernas rekommendationer i grova drag är relativt lika. Ofta bygger de på gamla försök alternativt analyser av ett större antal jordprover från representativ åkermark. Det finns oftast en lägre gräns i rekommendationerna under vilket pH inte bör understiga för att undvika stora skördeförluster. I tabellen nedan har försök gjorts att hitta rekommendationer för jord med så lika lerinnehåll och mullhalt som möjligt i de representerade länderna för att kunna jämföra rekommenderade pH-värden. Här har valts en medeltolerant gröda som vete. I kolumnen längst till höger har uppskattning gjorts enligt H₂O-metoden för alla representerade länderna. Uppskattning med + 0,5 enheter från CaCl₂-metoden.

Tabell 16. Jämförelse av rekommenderade pH-värden i de undersökta länderna för en medeltolerant gröda som vete. Försök har gjorts att ta fram en jord från varje land med så lika lerinnehåll och mullhalt som möjligt. Värden längst till höger har uppskattats enligt H₂O-metoden.

	jordklass	Lerhalt %	Mullhalt %	pH	pH H ₂ O
Danmark*	1–4	3–10	<10	6,0–6,3	6,0–6,3
	5–6	10–15		6,3–6,7	6,3–6,7
	7–9	15–25		6,6–6,9	6,6–6,9
Finland (eurofins)	Lerjord	God bördighet	3–5,9	6,4–6,9	6,4–6,9
		Mkt god bördighet	3–5,9	6,9–7,2	6,9–7,2
Viljavuuspalvelu		(mr-mf)		6,0–7,7	6,0–7,7
Nederländerna					
	Flodlera, sjölera, lössjord	8–12	1,0–1,9	6,7	7,2
			5,0–7,4	>5,8	>6,3
		12–18	1,0–1,9	6,7	7,2
		8–12	5,0–5,4	6,0	6,5
Norge					
	Sand, morän	<10	2,0–3,5	6,1	6,6
	Lättlera/ mellanlera			6,3	6,8
Sverige					
		5–15	<6	6,2	6,2
			6–12	5,9	5,9
		25–40	<6	6,4	6,4
			6–12	6,1	6,1
Tyskland	Svagt lerig sand	5–12	<4	5,8–6,2	6,3–6,7
			4,1–4,8	5,4–5,9	5,9–6,4
	Sandig siltig lerjord	17–25	<4	6,3–7,0	6,8–7,5
			4,1–4,8	5,8–6,4	6,3–6,9

Som nämnts tidigare mäter *Danmark pH-värdet med CaCl₂-metoden men man använder begreppet reaktionstal som är pH mätt CaCl₂+ 0,5. Nederländerna, Norge, Tyskland mäter med CaCl₂-metoden. Sverige och Finland mäter enligt H₂O-metoden.

Resultatet visar att Nederländernas rekommendationer skiljer sig mest ifrån de svenska rekommendationerna både i komplexitet men även med högre mål-pH. Rekommendationerna i Tyskland och Danmark lägger större vikt vid grödorna än vad de svenska rekommendationerna gör och pH-nivåerna är ganska lika på de lättaste jordarna. De svenska rekommendationerna ligger något lägre på jordar med högre lerhalter och där är skillnaden större jämfört med Tyskland än om man jämför Sverige och Danmark. Finland ligger mer åt samma värden som Sverige och Norge men har i sina rekommendationer ett bredare intervall. Skillnaderna mellan länderna är mindre för lättare jordar.

4.1.2 Underlagen för ländernas rekommendationer

De flesta av de undersökta länderna hänvisar till äldre försök från ca 1960-1990-talen. En del ännu äldre och en del något nyare. De exempel som nämns i de olika ländernas avsnitt är inte de enda som finns men i samtal med forskare från representerade länder är de försök och rapporter som nämns relevanta exempel.

4.1.3 Likheter i de olika ländernas rekommendationer

Kalkning ses som väldigt viktigt i länderna och man var också överens om att kalkens verkningsgrad är snabbare ju mer finmald kalk som används, beroende på modermaterial. Vad som också framgick var att det anses att kalkningens effekt har en positiv påverkan på skörderesultat. Försumningsprocesser och hur viktig kalken är för att bibehålla ett bra pH-värde och att strukturen i jorden förbättras till växtrötternas fördel att kunna breda ut sig och ta upp mer vatten och näring kom fram i alla material. Representanterna från de olika länderna var också överens om att det lönar sig i längden att kalka upp till mål-pH. I samtliga länder praktiseras precisionskalkning i hög grad. Vad gäller rekommendationer för de olika lantbruksgrödorna var länderna samstämmiga om mål-pH vid odling av sockerbetor och potatis. Sockerbetor föredrar ett högre pH-värde (ca 7,0) medan potatis föredrar lite lägre (runt 6,5).

Jordar indelas efter lerhalt och organiskt material. Ju högre lerhalt desto högre är rekommendationerna för mål-pH. Ju högre procent organiskt material desto lägre mål-pH. De flesta grödor odlas i alla sex undersökta länderna i större eller mindre utsträckning. Majs odlas i större mängd i länderna söderut.

4.1.4 Skillnader i rekommendationerna

Det är svårt att göra direkta jämförelser eftersom länderna delar in jordar på olika sätt och där ler- och mullhalt redovisas mer eller mindre specifikt. Finlands rekommendationer innehåller generellt bredare pH-intervall där det lägre värdet gäller jordar rika på organiskt material och det högre värdet jordar fattiga på organiskt material. Detta kan återigen bero på risken för frigörelse av aluminium som kan finnas i högre halt på lerrika jordar. En förklaring till det är att det organiska materialet som har negativa ytladdningar pga dissociation av de organiska syrorna som binder de positiva al-jonerna och blir på detta sätt otillgängliga för växten. Ju mer organiskt material i lerjordarna desto lägre pH-värde kan tolereras på grund av bindningen av Al. menar Krogstad⁹.

Rekommendationerna för olika jordar relaterat till organiskt material är mycket mer detaljerad i Nederländerna och Tyskland gällande mål-pH jämfört med de nordiska länderna. Jordarna är indelade i fler grupper i Nederländerna jämfört med de övriga länderna trots att det är ett litet land. I nederländsk kalkrådgivning, kalkas inte jorden upp till grödans optimum av pH utan mer hänsyn tas till växtföljden. Alla grödor har ett pH-optimum men man kan inte ändra pH i jorden varje år, så mål-pH är det ekonomiska pH-optimum för grödan och det som grödan delar med växtföljden. Kostnaden för kalkningen tar man inte hänsyn till. I deras rekommendationer ingår oftast en växtföljd, dvs i olika jordar föreslås ett antal växtföljder ofta med hänsyn till att potatis eller sockerbeter ingår i odlingsplanen. Däremot när det gäller rekommendationer kring hur mycket kalk som behöver tillföras för att höja pH-värdet, har också de nordiska länderna en detaljerad indelning beroende på halt av organiskt material. I Sverige finns fler tunga lerjordar med över 40% lerinnehåll än i tex Norge där de flesta ler och mineraljordar jordar ligger på 20–40% ler. Endast 7–8% av Danmarks lerjordar har en lerhalt över 15%. Inom själva länderna finns skillnader i pH-värden för jordar med liknande struktur och innehåll av ler och organiskt material. I Sverige är det viktigt att se till det specifika området, dess förutsättningar och vad som bäst lämpar sig att odla på platsen.

Strukturkalkning som rekommenderas för att förbättra strukturen i lerjordar praktiseras i hög grad av Sverige och Tyskland men praktiseras inte i Norge.

4.1.5 Begränsningar i jämförelser mellan länderna

Eftersom pH mäts med olika analysmetoder är det svårt att komma fram till hur mycket som skiljer i rekommendationerna och hur de överensstämmer. I Sverige och Finland mäts pH i vatten (H₂O) medan Danmark, Nederländerna, Norge och Tyskland mäter i en kalciumklorid-lösning (CaCl₂). Mätning i CaCl₂ istället för H₂O kan resultera i att det uppmätta pH-värdet kan vara upp till en enhet lägre. Det vi kan göra är att acceptera en skillnad på 0,5 enheter, att de värden som är

⁹ Tore Krogstad, Dr och professor i jordkemi och växtnäring vid Norges biovetenskapliga universitet. Mailkonversation 20220621 om lerjordar och aluminium

mätta i $\text{CaCl}_2 + 0,5$ blir en ungefärlig mätning i H_2O -metoden och då kan en uppskattad jämförelse göras. (Miller, R. & Kissel, D.E. 2010).

Danmark redovisade mål-pH för sina grödor uppdelade i känsliga, medeltoleranta och toleranta grödor. Finland redovisade i sina mätningar mål pH-värden i en tabell för enskilda grödor med bredare intervall än övriga. Nederländerna gav i stället generella rekommendationer på mål-pH för samtliga grödor och hade tabeller där olika pH föreslogs i olika jordar vid olika växtföljder, speciellt i åtanke på potatis och hur den grödan återkom i odlingsplanen.

Norge redovisade specificerat mål-pH för olika grödor I Sveriges rekommendationer visades generellt mål pH och även specifikt för potatis och sockerbetor. Tyskland visade generella mål pH-värden i olika intervall beroende på vilken gröda som odlades. Att se till ett mål-pH utefter grödans behov eller jordens behov diskuteras. I Nederländerna talades det mycket om grödans behov, jorden var viktig, men enligt egen uppfattning är de mer fokuserade på vilken gröda som ska odlas. Det är inte alltid så lätt att tolka andra länders information då rekommendationerna är skrivna på det egna landets språk vilket är en svaghet i de undersökningar som gjorts. Ett större arbete än en kandidatuppsats skulle behövas för att dyka djupare i kalkrekommendationerna i länderna. Det finns inte alltid lättillgänglig information att tillgå utan det är ibland ett detektivarbete.

4.1.6 Möjligheter och lärdom av andra länder och implementering i svenskt jordbruk

För att kunna implementera och lära oss från andra länder skulle jag föreslå att forskare och professorer och rådgivare kunniga i ämnet har fler träffar över nätet eller fysiskt där rekommendationer och vad de grundar sig på diskuteras. I dagens kommunikationssamhälle ges det stora möjligheter för att genomföra detta. Det finns ett varmt intresse för denna fråga då fler av ländernas representanter menar att deras länder är i behov av att uppdatera sina rekommendationer. Det finns möjligheter att lära av varandras erfarenheter och praxis. I de samtal med erfarna forskare och kunniga personer i ämnet från de olika länderna finns en öppenhet och hjälpsamhet och villighet till samtal och diskussion vilket varit en styrka och inspiration i arbetet.

I Sverige har vi enskilda lantbrukare och företag vilka speciellt inriktar sig på vissa grödor till exempel sockerbetor, rapsodling, potatis, vete mm. Vi kan ta vara på deras upptäckter och resultat. I jämförande av jordar i de olika länderna kan ses vissa likheter tex. att hänsyn tas till lerhalt och organiskt material i procent vilket gör att ändå viss jämförelse kan göras. Lika grödor i olika länder har i stort sett samma optimum av pH och det gör att grödors optimum av pH-värde i stort sett kan tillgodoses även om ländernas jordar har lite olika sammansättning och att längden på ländernas växtsäsong varierar. Olika grödsorter från de olika länderna har inte jämförts i rapporten men kunde vara intressant i fortsatta diskussioner med representanter för länderna. Nya sorter av olika grödor har tagits fram och i gamla försök är försöken utförda med helt andra sorter än vad vi har idag. Det

behövs fler nya försök för att se hur grödorna reagerar och svarar på ökade pH-värden runt 7,0.

5. Slutsats

Det råder ingen tvekan om att representerade länder vill uppdatera sina rekommendationer oavsett om det leder till en höjning av rekommenderade pH-värden eller inte. I grova drag är rekommendationer och råd lika och baseras i stort på gamla försök och jordanalyser. Nederländerna, Tyskland och Danmark har dock generellt något högre mål-pH värden. Att sätta ett uppdaterat mål-pH för ett helt lands jordar och grödor är inte bara en siffra utan innefattas av många faktorer vilket gör att arbetet skyndar långsamt. Ämnet har diskuterats under ett antal år inom länderna. En växtproduktion som är både är effektiv och hållbar är något alla är överens om att de vill uppnå. De berörda ländernas forskare vill gärna ha fortsatta diskussioner om hur vi kan lära av och hjälpa varandra. Ett optimalt pH är inte allt men dock en så viktig del.

6. Tack

Ett stort tack till handledare Karin Hamnér och biträdande handledare Malin Lovang på Lovangs Konsult AB och Emma Hjelm på Jordbruksverket. Tack att ni haft tålamod, uppmuntrat och gjort arbetet intressant och inspirerande. Ytterligare tack till forskare och professorer i Danmark: Leif Knudsen, i Norge: Tore Krogstad och Karl-Jan Erstad, i Finland: Kari Yliviano, Rasa Kimmo, i Nederländerna: Willem van Geel, i Sverige: Holger Kirchmann, i Tyskland: Hansgeorg Schönberg och Ferenc Kornis. Stort tack också till examinator Johanna Wetterlind.

7. Referenser

- Bemestingsadvies, (2021). [broschyr] chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgicfindmkaj/<https://edepot.wur.nl/413891>
- Boskma, K. (1967). *De invloed van het gehalte aan afslibbare delen en andere factoren op de optimale pH van kleigrond*. (IB-rapport). Groningen: Instituut voor Bodemvruchtbaarheid,
- Börjesson, G & Kirchmann, H. (2022) *Interactive long- term effects of liming and P application on claysoil: crop yield increases up to pH 7,5*
<https://doi.org/10.1007/s11104-021-05293-1>
- DLG (Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft)-Merkblatt 456. (2. Auflage, Stand: 06/2021). *Hinweise zur Kalkdüngung* https://www.dlg.org/de/dlg-merkblatt_456.pdf
- DLG e.V. Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt am Main
<https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft>
- Ehinger (2001–2022). *pH-skalan. Hur man beräknar pH*
<https://ehinger.nu/undervisning/index.php/kurser/kemi-a/lektioner/syror-och-baser/2316-ph-skalan>
- Eriksson,J. (2021). *Tillståndet i svensk åkermark och gröda*. Data från 2011–2017 Ekohydrologi 168, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala
<http://pub.epsilon.slu.se>
<https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/akermarksinventeringen/>
- Erstad,K.J.(2012) *Kalkningsmål för korn och gräs* (rapport nr 4/2012), Franzefoss Miljökalk AS, Rud.
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat*. 1:2 uppl., Lund: Studentlitteratur
Bakgrund Jordbruksverket (2021). *Rekommendationer för gödsling och kalkning*
<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo219.html>
- Fogelfors, H. 2015. *Vår mat*. 1:2 uppl., Lund: Studentlitteratur

Eriksson, J, et al. (2011). *Marklära* 1 uppl., Lund: Studentlitteratur

Grunert, M. (2015) Försök i Sachsen. LfULG Dresden

https://www.proplanta.de/agrar-nachrichten/pflanze/kalkung-sichert-bodenfruchtbarkeit-und-nachstoffverfuegbarkeit_article1437110934.html

(se DLG, Merkblatt 456, 2021)

Gustafsson & Gustavsson, 1999. Jordbruksverket, *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2021*

Gustavsson, K. (1997). *Models for precision application of lime*

Eriksson, J., Andersson, A., Andersson, R., (1997) Current status of Swedish arable soils. Report 4778. Swedish Environmental Protection Agency. Development and Advisory Service, ODAL, S-53187, Lidköping Sweden

Haak, E., Sima' n, G. (1992). *Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad* (rapport 188). Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.

handboeckbodemembemesting (2022), *pH en bekalkning*

<https://www.handboeckbodemembemesting.nl/nl/handboeckbodemembemesting/Handeling/pH-en-bekalking.htm>

Helfenstein A., Mulder V.L., Heuvelink G. B. M., Okx J.P. (2021). *Tier 4 maps of soil pH at 25 m resolution for the Netherlands* Volume 410 (115659) Geoderma, Wageningen

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0016706121007394?token=E65599E73788F255A4185422C37C2E81A1ACCE04A4F4BCD6E5BE166EB38E54744BAA30C1BE3B8>

Jordbruksverket (2021). *Gödsel och kalkverkan*

<https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtnaring/kalkning>

Jordbruksverket (2012). *Jordbruket i siffror*,

<https://jordbruketisiffror.wordpress.com/?s=Nederl%C3%A4nderna>

Jordbruksverket (2012). *Jordbruket i siffror*.

<https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2012/09/30/tema-eu-tyskland/>

Jordbruksverket, (2021). *Markkarteringsrådets rekommendationer för markkartering i åkermark*

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/markkartering-av-akermark.html>

Jordbruksverket (2021). *Rekommendationer för gödsling och kalkning*

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo219.html>

- Jordbruksverket (2021). *Rekommendationer för gödsling och kalkning*
<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo219.html>
- Jord och skogsbruksministeriet (2022).
<https://mmm.fi/sv/ministeriet>
- Kartverket 2021, *Fakta om Noreg*
<https://www.kartverket.no/>
- Kemppaneini, E., Jaakkola, A., Elonen, P. (1993) *Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon, (Effect of liming on yield of cereals and grass)* (rapport 15/93). Jokioinen: Maatalouden Tutkimuskeskus (forskningscentrum för jordbruk)
- Kirchmann, H., Börjesson, G., Bolinder M. A., Kätterer, T., Djodjic, F. (2020). Soil properties currently limiting crop yields in Swedish agriculture - an analysis of 90 yield survey districts and 10 lång-term field experiments.
- Knudsen, L. (2004). *Baggrund for kalkningsvejledning* (rapport 1458). Danmark; SEGES
- Krogstad, T. (2017) *Ökad kornskörd genom mer optimal kalkning, kap 7* (NIBIO rapport) Norges Lantbruksrådgivning
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1eiUHLuX82Kar6yv7q8hkoqXgLmUXrRtx>
- Krogstad, T. (1992) *Metoder for jordanalyser*, (rapport 6/92) Ås-NLH (Norges Landbrukshøgskole), Institutt for Jordfag, Uppdragsgivare: Det Konglige Landbruksdepartement.
<https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2787583>
- Landguiden (2020). *Hela världen på ett ställe, Danmark*
<https://www.ui.se/landguiden/sok/?q=Danmark&offset=0&pagesize=9>
so-rummet (2022) *Inspiration och kunskap, Danmark idag*.
<https://www.so-rummet.se/kategorier/samhallskunskap/varldens-lander-samhallskunskap/europa-samhallskunskap/fakta-om-danmark>
- Landguiden (2020). *Hela världen på ett ställe, Nederländerna*
<https://www.ui.se/landguiden/lander-och-omraden/europa/nederlanderna/geografi-och-klimat/>
- Landguiden (2020). *Hela världen på ett ställe, Norge*
<https://www.ui.se/landguiden/sok/?q=Norge&offset=0&pagesize=9>
- Landguiden (2020). *Hela världen på ett ställe*,
<https://www.ui.se/landguiden/sok/?q=sverige&offset=0&pagesize=9>

- Landguiden (2020). *Hela världen på ett ställe*,
<https://www.ui.se/landguiden/sok/?q=tyskland&offset=0&pagesize=9>
- Lehtonen, H. & Purola, T. (2020) *Evaluating profitability of soil-renovation investments under crop rotation constraints in Finland* (rapport 180). Finland: Agriculture Systems
https://www.researchgate.net/publication/339848688_Evaluating_profitability_of_soil-renovation_investments_under_crop_rotation_constraints_in_Finland
- Mattson, L. (2010) *Geologiskt ursprung och kornstorlek avgör kalkeffekten*, Rapport nr 5, ISBN 978-91-86197-81-0, Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö.
- Miller, R. & Kissel, D.E. (2010). Soil Science Society of America Journal 74 (1): Agricultural Proficiency Testing Program. *Comparison of Soil pH Methods on Soils of North America* DOI:
[10.2136/sssaj2008.0047](https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0047)https://www.researchgate.net/publication/240789701_Comparison_of_Soil_pH_Methods_on_Soils_of_North_America
- NIBIO-rapport
<https://www.nibio.no/nyheter/ni-fakta-om-norsk-landbruk>
- Nordkalk Finland (2022), *Kalkningsguide*
 Homeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.hankkija.fi/Liitet-edostot/>
- Norgesfor handbok plantekultur (2008) *Landsoversikt kalkmiddel*
- Pedersen, (1989). *Bilag til Planteavlskonference*. Danmark: Statensforsøgs Planteavg, Landbrugscentret, Nyborg Strand.
- Sima´n, G. (1985, 1989). *Mark- och skördeeffekter i de permanenta kalkningsförsöken under en 20-årsperiod, 1962-1982* (rapport 165). Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- so-rummet (2022) *Inspiration och kunskap, Sverige idag*.
<https://www.so-rummet.se/kategorier/geografi/varldsdelar-och-lander-geografi/europa-geografi/sveriges-geografi#>
- Valkama, P. (2022). *Gypsum as soil amendment*. Finland: Finnish Environment Institute (SYKE).www.slu.se/en/departments/soil-environment/research/agricultural-water-management-/waterdrive/catalogue-of-measures/gypsum/

VDLUFA-Methodenbuch, Bd. I *Die Untersuchung von Böden*. (2001) (Verband Deutscher Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik) VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

För mer information: <https://www.vdlufa.de/> 2022

VDLUFA, *Standpunkt, Bestimmung des kalkbedarfs von Acker- und Grünlandsböden*, 19 september 2000, VDLUFA selbstvorlag, Darmstad [t0-9-kalk CaCl2 metod.pdf](#)

Viljavuuspalvelu tuttu ja luotettava , (2008). *Viljavuustutkimuksen Tulkinta Peltoviljelyssä* [broschyr]. www.viljavuuspalvelu.fi








Ylivainio, K. et al. (2014) *Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland* (rapport 124). Finland, Jokioinen: MTT Agrifood research. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti124.pdf> URL

Ylärinta, T. & Mäntylähti, V. (1980). *Maan kalkitustarpeen määrittämisestä viljavuustutkimuksessa (Bestämning av kalkning av jorden inom fruktilitetsforskning)* (Tiedote N:o 9) Forskningscentrum för jordbruk

Bilaga 1

Finland

TOLKNING AV ANALYSRESULTATEN

Jordens egenskap och jordartsgrupp	Mullhalt	B Ö R D I G H E T S K L A S S						
		Dålig	Rätt dålig	Försvarlig	Tillfredsställande	God	Hög	Betänkligt hög
								
Surhet, pH								
- lerjordar	mf	- 5,4	- 5,8	- 6,3	- 6,7	- 7,2	- 7,6	-
	mh	- 5,2	- 5,6	- 6,0	- 6,4	- 6,9	- 7,3	-
	mr	- 5,0	- 5,4	- 5,8	- 6,2	- 6,6	- 7,0	-
	mmr	- 4,8	- 5,2	- 5,6	- 6,0	- 6,4	- 6,8	-
- grova mineraljordar	mf	- 5,1	- 5,5	- 5,9	- 6,3	- 6,7	- 7,1	-
	mh	- 5,0	- 5,4	- 5,8	- 6,2	- 6,6	- 7,0	-
	mr	- 4,9	- 5,3	- 5,7	- 6,1	- 6,5	- 6,9	-
	mmr	- 4,7	- 5,1	- 5,5	- 5,9	- 6,3	- 6,7	-
- mulljordar		- 4,6	- 5,0	- 5,4	- 5,8	- 6,2	- 6,6	-
- torvjordar		- 4,4	- 4,8	- 5,2	- 5,6	- 6,0	- 6,4	-

Bilaga 2

Nederländerna

Exempel på tabell för nederländska rekommendationer. Här för marinlera och havssand.

Tabel 5.3. *Waardering van de pH-CaCl₂ en advies-pH's op zeeklei en zeezand (1967).*

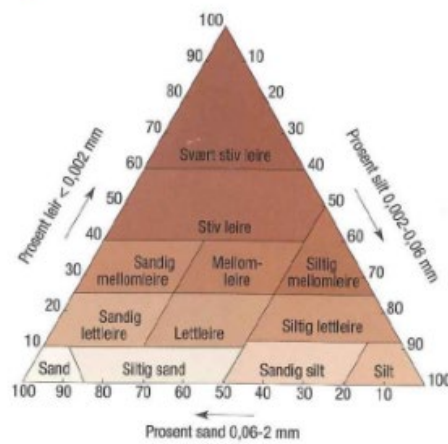
Waardering	Organische stofgehalte (%)											
	1,0-1,9	2,0-2,9	3,0-4,9	5,0-7,4	7,5-9,9	10,0-12,4	12,5-14,9	15,0-19,9	20,0-24,9	25,0-29,9	30,0-34,9	> 34,9
<i>< 8% lutum</i>												
Zeer laag	< 5,7	< 5,3	< 5,1	< 4,8	< 4,6	< 4,4	< 4,2	< 4,1	< 3,9	< 3,8	< 3,7	< 3,6
Laag	5,7-6,3	5,3-5,8	5,1-5,5	4,8-5,3	4,6-5,1	4,4-4,9	4,2-4,7	4,1-4,5	3,9-4,3	3,8-4,1	3,7-4	3,6-3,9
Vrij laag	6,4-6,7	5,9-6,2	5,6-5,9	5,4-5,6	5,2-5,4	5-5,3	4,8-5,1	4,6-4,9	4,4-4,7	4,2-4,5	4,1-4,3	4-4,1
Goed	> 6,7	> 6,2	> 5,9	> 5,6	> 5,4	> 5,3	> 5,1	> 4,9	> 4,7	> 4,5	> 4,3	> 4,1
Bekalken tot	6,7	6,3	6	5,7	5,5	5,4	5,2	5	4,8	4,6	4,4	4,2
<i>8-12% lutum</i>												
Zeer laag	< 5,7	< 5,4	< 5,2	< 5	< 4,8	< 4,6	< 4,4	< 4,2	< 4,1	< 3,9	< 3,8	< 3,7
Laag	5,7-6,3	5,4-5,9	5,2-5,6	5-5,4	4,8-5,3	4,6-5,1	4,4-4,9	4,2-4,7	4,1-4,5	3,9-4,3	3,8-4,1	3,7-4
Vrij laag	6,4-6,7	6-6,3	5,7-6	5,5-5,8	5,4-5,6	5,2-5,4	5-5,3	4,8-5,1	4,6-4,9	4,4-4,7	4,2-4,5	4,1-4,2
Goed	> 6,7	> 6,3	> 6	> 5,8	> 5,6	> 5,4	> 5,3	> 5,1	> 4,9	> 4,7	> 4,5	> 4,2
Bekalken tot	6,7	6,4	6,1	5,9	5,7	5,5	5,4	5,2	5	4,8	4,6	4,3
<i>12-18% lutum</i>												
Zeer laag	< 5,7	< 5,4	< 5,3	< 5,2	< 5	< 4,8	< 4,6	< 4,4	< 4,1	< 4	< 3,9	< 3,7
Laag	5,7-6,3	5,4-6	5,3-5,8	5,2-5,6	5-5,4	4,8-5,3	4,6-5,1	4,4-4,9	4,1-4,6	4-4,4	3,9-4,2	3,7-4
Vrij laag	6,4-6,7	6,1-6,4	5,9-6,2	5,7-6	5,5-5,8	5,4-5,6	5,2-5,4	5-5,3	4,7-5	4,5-4,8	4,3-4,6	4,1-4,3
Goed	> 6,7	> 6,4	> 6,2	> 6	> 5,8	> 5,6	> 5,4	> 5,3	> 5	> 4,8	> 4,6	> 4,3
Bekalken tot	6,7	6,5	6,3	6,1	5,9	5,7	5,5	5,4	5,1	4,9	4,7	4,4

Bilaga 3

Norge

Jordartsinndeling

Fullstendig jordartstrekant



Jordartstrekant til bruk i gjødslingsplanleggingen

