

Om indhold af bor i danske landbrugsafgrøder

Ved *Aage Henriksen*

907. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

I nærværende beretning gøres rede for undersøgelser over borindholdet i landbrugsafgrøder. Analysearbejdet er udført ved Statens Planteavlslaboratoriums jordbundskemiske afdeling i Vejle, og beretningen udarbejdet af forstander *Aage Henriksen*.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Indledning

Allerede for over 100 år siden påviste *Wittstein* og *Apogier* (1857) bor som bestanddel af planteaske. Men først med *Waringtons* undersøgelser (1923) blev der ført bevis for, at bor er et essentielt plantenæringsstof. I årene siden er der verden over udført et stort antal undersøgelser med henblik på at klarlægge bors jordbundskemiske forhold, dets funktioner i planterne, samt behovet for tilførsel af stoffet til forskellige afgrøder og under varierende dyrkningsvilkår.

Visse resultater fra udenlandske undersøgelser, væsentligst fra grundforskningens område, kan direkte overføres og udnyttes i dansk planteavl. Men for alle øvrige gælder, at de må efterprøves og suppleres under dyrkningsmæssige vilkår, taget i videste forstand, som de findes her i landet. Bestemmelser af afgrødernes indhold af bor er et eksempel herpå, idet boroptagelsen bl.a. vil være stærkt afhængig af jordbunds- og klimaforhold.

Blandt de essentielle plantenæringsstoffer indtager bor den særstilling, at det ikke samtidig er et essentielt mineralstof for husdyrene. Bestemmelse af borindholdet i afgrøder har således kun interesse set fra et planteavlmæssigt synspunkt, nemlig som grundlag for en beregning af bortførselen af stoffet med afgrøderne. En sådan beregning er et nødvendigt led i en vurdering af borbilancen, såvel i den enkelte bedrift som for landbruget som helhed.

Spørgsmålet om borbilancen aktualiseres af flere forhold, men vel først og fremmest af de

stærke produktionstekniske ændringer, der i disse år sker i landbruget, såsom stigende overgang til kvægløst brug, ændring i arealbenyttelse m.v. Dernæst af spørgsmålet om betydningen af bortilsætning til enkeltgødninger og blandingsgødninger. Af hvilken størrelse en sådan tilsætning eventuelt bør være vil i høj grad afhænge af borbilancen, selv om faktorer der påvirker tilgængeligheden af bor selsagt også spiller en rolle i det enkelte tilfælde.

Fra dansk side forelå hidtil kun resultater af borbestemmelser i 2 bygafgrøder og 1 havreafgrøde, dyrket ved statens forsøgsstation, Virumgaard (*Steenbjerg* og *Boken*, 1943). Ved beregning af afgrødernes bortførsel af bor har man derfor stort set været henvist til at benytte det iøvrigt ret sparsomme analysemateriale, der foreligger fra udlandet, og som ikke umiddelbart kan anses som gældende for danske afgrøder.

Materiale og analysemetode

Til undersøgelser over borindholdet i byg, havre, bederoer og kløvergræs er hovedsagelig anvendt prøver fra sædskifteforsøg, udført ved de landøkonomiske foreningers forsøgsvirksomhed. Såvel ved anlæg af disse forsøg som ved udvælgelsen af prøver til analyse er det tilstræbt, at alle egne og jordbundstyper blev bedst muligt repræsenteret. Prøverne af kårloer er fra forsøg med stigende NPK-mængder og gødet med 608 kg kalksalpeter samt 530 kg PK-gødning 0-5-13 pr. ha. Hestebønnerne er fra forskellige af statens forsøgsstationer, medens

prøverne af rene græsser og kløverarter forelå fra en tidligere undersøgelse (Henriksen, 1964).

Borbestemmelse i prøverne er udført på følgende måde: 2 g tørstof (af kærne dog 4 g og af roetop kun 1 g) afvejes og overføres til en kvartsdigel. For at hindre bortab ved foraskningen tilsættes hver prøve 5 ml mættet opløsning af calciumhydroxid. Efter inddampning til tørhed foraskes prøven i el-ovn i 3-4 timer ved 550° C.

Den afkølede aske tilsættes 10 ml fortyndet svovlsyre (1 del konc. svovlsyre fortyndet med 9 dele vand) og henstår hermed i ca. 15 minutter før opløsningen filtreres gennem 7 cm filter over i en 50 ml målekolbe af Jena-glas. Diglen afskylles flere gange med vand som hældes gennem filtret, og sluttelig fyldes op til mærket med vand.

Af filtratet udtages 2½ ml som overføres til en 50 ml flaske af Jena-glas (Steilbrust nr. 4170 b) med glasprop. Bestemmelsen af borindholdet udføres herefter med samme metode som angivet til bestemmelser i jordekstrakter (Arbejdsmetoder III, 1964).

Standardafvigelsen på fællesanalyser af det undersøgte prøvemateriale fandtes til $\pm 0,57$ eller 7,9 pct. af det gennemsnitligt fundne borindhold.

Afgrødernes borindhold

Der undersøgtes ialt 237 prøver. Antal prøver af de enkelte afgrøder samt de respektive gennemsnitstal og variationsbredder for borindhold er anført i tabel 1.

Af resultaterne fremgår som almindelig hovedlinie, at eenkimbladede planter har langt lavere borindhold end tokimbladede og ligeledes, at vegetative plantedeles borindhold er betydeligt højere end frugternes. Dette er kun en bekræftelse på resultater af tilsvarende undersøgelser fra andre lande, idet disse viser ganske samme linie. Derimod er de fundne borkoncentrationer i danske afgrøder gennemgående lavere end dem, der er publiceret for lignende afgrøder fra udenlandske undersøgelser.

Som eksempel herpå kan nævnes resultater

Tabel 1. Middeltal og variationsbredde for indhold af bor i forskellige afgrøder

Afgrøde	Antal prøver	mg B/kg tørstof gns.	variation
Byg, kærne.....	48	1,0	0,5-1,9
» , halm	48	4,2	2,6-6,7
Havre, kærne.....	9	1,2	1,0-2,1
» , halm	9	4,0	3,0-5,6
Timothe.....	3	3,5	3,2-3,9
Hundegræs.....	2	3,6	3,2-4,0
Rajgræs	5	4,6	3,4-5,6
Kløvergræs	53	6,8	3,6-15
»	(15 fs.)	6,5	4,2-12
Rødkløver	5	18,8	18-21
Hvidkløver.....	2	21,2	19-23
Hestebønner	15	8,4	6,4-11
Kålroer, rod	5	10,6	8,8-14
» , top	5	26,2	21-31
Bederoer, rod	14	13,8	11-17
» , top	14	26,7	21-42

fra en af de hyppigst citerede undersøgelser, nemlig *Bertrand* og *De Waals* (1936), der viser indhold på 2,3 mg i byg, 15,4 mg i hestebønne, 36,2 mg i rødkløver og 75,6 i bederoetop, alt pr. kg tørstof. Ligeledes angiver *Svanberg* (1962) følgende middelindhold af bor pr. kg tørstof af svenske afgrøder: Kærne af hvede, rug, byg og havre 6 mg; sukkerroer, rod 17 mg, top 40 mg; kløverhø 30 mg og timothehø 6 mg. *Philipsons* undersøgelser (1953), ligeledes af svenske afgrøder, viser gennemgående lavere resultater (rødkløver 20-30 mg; foderroer, rod 12-17 mg, bladstilke 20-40 mg og blade 30-60 mg B/kg tørstof).

Årsagerne til variationerne i afgrødernes borindhold fra land til land såvel som indenfor det undersøgte danske materiale (tabel 1) må søges i en række forhold. Af disse spiller forskelle i jordens indhold af tilgængeligt bor givet den væsentligste rolle. Imidlertid kan der ikke udføres beregninger over sammenhængen mellem jordens og afgrødernes borindhold i det undersøgte materiale, idet der ikke foreligger resultater af bortalsbestemmelser i forsøgsjorderne. Af resultater fra karforsøg med stigende mængder bor til lucerne ved varierende kalktilstand fremgår imidlertid med al tydelighed, at bor-

Tabel 2. Sammenhæng mellem borindholdet i kærne og halm af byg samt i rod og top af bederoer fra samholdende afgrøder

Kærne		Halm		Rod		Top	
gruppe	gns.	gns.	Antal prøver	gruppe	gns.	gns.	Antal prøver
<0,9	0,7	4,3	22	<13	11	22	8
0,9-1,2	1,1	3,5	14	13-14	14	27	6
>1,2	1,5	4,6	12	>14	16	30	5

koncentrationen i afgrøden vokser med stigende borindhold i jorden, des stærkere jo lavere jordens pH er (J. Jensen, 1964). Lignende resultater fremgår eksempelvis også af Philipsons undersøgelser (1953).

Som vist i tabel 2 er der sammenhæng mellem borkoncentrationen i rod og top af samholdende afgrøder fra det undersøgte materiale. Denne sammenhæng er ganske udpræget, idet toppens borindhold i samtlige undersøgte prøver, indenfor analysefejlsens grænser, er dobbelt så høj som rodens. Dette tyder på, at der ikke har været bormangel i nogen af de undersøgte bederoeafgrøder, idet toppens indhold af bor falder betydeligt ved utilstrækkelig borforsyning, medens rodens indhold kun ændres lidt (Philipson, 1953). Steenbjerg (1965) angiver ligeledes, at ved tilstrækkelig borforsyning er koncentrationen dobbelt så høj i bladene som i roden, og at bladenes alder ikke øver nævneværdig indflydelse på dette forhold.

Derimod er der ikke fundet sammenhæng mellem indholdet af bor i kærne og halm ved den foretagne undersøgelse. Årsagen hertil skal formentlig til dels søges i den kendsgerning, at det totale borindhold i byg og havre kan ekstraheres med vand (Steenbjerg, 1943). Bor må derfor kunne udvaskes fra modnende og modent plantemateriale af regn og dug, og det må være rimeligt at antage, at udvaskningen hovedsagelig finder sted fra halmen. En eventuel eksisterende sammenhæng mellem kærnenes og halmens borindhold vil derfor kunne tilsløres af variationer i vejrforholdene fra forsøgssted til forsøgssted under kornafgrødens modning og bjergning.

De 53 prøver af kløvergræs hidrører fra 15

forsøg, som er høstet med 3 eller 4 slæt. På grund af den udprægede forskel mellem kløver- og græsarternes indhold af bor vil det imidlertid være uden mening at anvende materialet til en undersøgelse af en mulig årstidsvariation, idet det enkelte slæts borindhold først og fremmest vil være bestemt af dets procentiske kløverindhold. Den betydelige, men ikke-sæsonbestemte variation i borindholdet fra slæt til slæt indenfor det enkelte forsøg må formentlig også overvejende tilskrives dette forhold. Desværre er der ikke bestemt kløverprocent i de analyserede afgrøder, men de lavest fundne borindhold (tabel 1) antyder, at der ikke har været kløver i afgrøden, medens de højest fundne svarer til et kløverindhold på ca. 70 pct.

Foruden simpelt gennemsnit af samtlige undersøgte prøver er der i tabel 1 anført gennemsnitstal og variationsbredde for borindholdet i afgrøderne fra de 15 forsøg, idet de enkelte slæt naturligvis indgår med vidt forskellig vægt i forsøgenes totaludbytte. Den ringe forskel i gennemsnitstallene, der fremgår som resultat af de to beregningsmåder, antyder, at der ikke er systematisk forskel mellem de enkelte slæts gennemsnitlige borindhold i det analyserede materiale.

Afgrødernes borooptagelse

Omend antallet af analyserede prøver for flere afgrødernes vedkommende er ret beskedent, må det være tilladeligt at anvende gennemsnitsresultaterne som grundlag for en orienterende beregning af afgrødernes årlige bortførsel af bor fra Danmarks landbrugsareal. De hertil anvendte tal for udbytte af de enkelte afgrøder er gennemsnit for årene 1963-67 (Landbrugsstati-

stik, 1967), og det skal bemærkes, at kun bjerget halm og roetop er medtaget ved udbytteopgørelsen.

Tabel 3. Den årlige bortførsel af bor med afgrøder, beregnet på grundlag af det gennemsnitlige høstudbytte i årene 1963-67 og det gennemsnitlige borindhold i mg/kg tørstof (tabel 1)

Afgrøde	Areal 1000 ha	Tørst.- udb. 1000 t	mg B kg tørst.	Boro- optagelse tons	g/ha
Kærne.....	1600	5100	1,1	5,6	3,5
Halm.....	»	4500	4,1	18,5	11,6
Bederøer, rod .	230	1950	13,8	26,9	117
» , top .	»	880	26,7	23,5	102
Kålroer, rod . .	140	1150	10,6	12,2	87
Græsmaksafgr.	900	5000	6,5	32,5	65
Ialt og gns. ...	2870			119,2	41,5

Ifølge resultaterne af beregningen, der er vist i tabel 3, skulle den årlige bortførsel af bor med nuværende arealanvendelse og udbyttensniveau andrage ca. 120 tons for de nævnte afgrøder. Hertil kommer dog optagelsen i kartofler og bælgssæd, der kan anslås til henholdsvis ca. 1 og 2,5 t, samt optagelsen i forskellige specialafgrøder. Med indregning heraf vil afgrødernes bortførsel af bor fra det samlede landbrugsareal kunne anslås til 125-130 tons årlig.

I tabel 3 er ligeledes anført resultater af beregninger over de enkelte afgrøders gennemsnitlige boro-optagelse i g pr. ha. For kærne svarer udbyttensniveauet til ca. 38 hkg/ha med 16 pct. vand; for bederøer, kålroer og græsmarksafgrøder til henholdsvis ca. 85, 82 og 56 hkg tørstof pr. ha. Da kun bjerget halm og bederøetop er medregnet i de respektive udbyttetotal, skal boro-optagelsen for disse afgrøder øges med ca. 15 pct. Regnes der yderligere med et tørstofudbytte i kålroetop på 10 pct. af rodens, kommer man frem til følgende gennemsnits-optagelse af bor i danske landbrugsafgrøder (afrundede tal).

Vårsæd.....	17 g B/ha
Bederøeafgrøder.....	230 »
Kålroefgrøder.....	110 »

I 3 afgrøder af vårsæd, dyrket ved Virumgaard, fandt *Steenbjerg* (1943) en boro-optagelse i havre på 15,7 g/ha ved et tørstofudbytte på 78 hkg kærne og halm pr. ha. I to bygafgrøder på 60 og 65 hkg tørstof fandtes de respektive boro-optagelser til 9 og 13 g/ha. Når udbyttensniveauet tages i betragtning, er der således god overensstemmelse mellem resultaterne af denne og af nærværende undersøgelse.

Diskussion

Borbalancens tabsposter omfatter bortførsel af stoffet med afgrøder samt med dræn- og grundvand. Den gennemsnitlige størrelse af førstnævnte post er belyst ved resultaterne af den beskrevne undersøgelse, men derimod foreligger der overhovedet intet analysemateriale til grundlag for en beregning over tabet af bor ved udvaskning. En egentlig borbalance kan derfor ikke opstilles.

Da hovedparten af vaskemidlerne indeholder betydelige mængder bor, som gennem kloakudløb tilføres vandløbene, er analyser af vandløbsvands borindhold uanvendelige som grundlag for en beregning af udvaskningstab. En sådan beregning må derfor baseres på analyser af drænvand, eventuelt kombineret med undersøgelser over borudvaskningen i lysimetre eller i laboratoriet. Indtil resultater af sådanne undersøgelser foreligger i tilstrækkeligt omfang, kan det imidlertid være af interesse at beregne, hvor stor udvaskningen gennemsnitligt kan være, før borbalancen bliver negativ.

Dette lader sig gøre, idet der foreligger tilstrækkeligt materiale til en omtrentlig beregning af de forskellige indtægtsposter, der omfatter tilførsel med staldgødning og ajle, handelsgødninger, kalkmidler samt nedbør og luft.

Borindholdet i staldgødning og ajle er undersøgt af *Steenbjerg* (1937). I gennemsnit af 14 prøver staldgødning fandtes et gennemsnitligt borindhold på 3,6 g pr. ton, medens det tilsvarende i 10 prøver af ajle fandtes til 4,3 g. I borbalancen kan man - forsigtigt - vurdere naturgødningens bidrag til 85 pct. af afgrødernes borindhold eller ca. 107 tons, idet importerede

foderkager må formodes at tilføre ikke ubetydelige bormængder.

De fleste handelsgødninger indeholder små mængder bor som følgestof. Regner man med middeltal af forskellige foreliggende analyse-data (f.eks. *Steenbjerg*, 1937; *Kick*, 1962) kan tilførsel af bor som følgestof groft regnet anslås til ca. 5 g pr. ha og år, eller 15 tons for Danmarks landbrugsareal.

Af langt større betydning er imidlertid den direkte anvendelse af bor i borgødninger og som tilsætning til en række handelsgødninger. På grundlag af gødningsstatistikken, suppleret med oplysninger fra Landbrugsministeriets Gødningstilsyn kan beregnes, at borforbruget i gødningsåret 1967/68 har andraget ca. 234 tons og i 1968/69 ca. 270 tons. Heri er medregnet et indhold på 0,03 pct. bor i visse NPK-gødninger; et indhold, der som bekendt ikke må deklareres og derfor ikke indgår i gødningsstatistikken.

Tilførsel af bor med kalkmidler er af betydning. På grundlag af forbruget af jordbrugskalk og mergel samt analyser af borindhold (*Sørensen* og *Frederiksen*, 1967) kan den årlige tilførsel beregnes til ca. 4,8 tons eller 1,6 g/ha.

Med nedbør og luft tilføres gennemsnitlig ca. 30 g B pr. ha og år eller 90 tons til Danmarks landbrugsareal (*J. Jensen*, 1962).

En opsummering af de forannævnte vindingsposter for landbrugets borbalance viser, at der årligt tilføres ca. 468 tons bor eller omkring 156 g pr. ha. Dette er mellem 3 og 4 gange mere end der bortføres med afgrøderne, nemlig ca. 125 tons eller 42 g pr. ha. Der kan således gennemsnitlig tabes op til 115 g bor pr. ha og år ved udvaskning, før borbalancen bliver negativ.

Oversigt

Antallet af borbestemmelser i danske landbrugsafgrøder har hidtil været yderst fåtalligt. Ved beregning af afgrødernes boroptyagelse har man derfor været henvist til at benytte udenlandske analysedata, som imidlertid ikke umid-

delbart kan antages at gælde for danske afgrøder.

I konsekvens heraf er der foretaget bestemmelse af bor i 237 prøver af forskellige afgrøder, udvalgt på en sådan måde, at alle egne og jordtyper søgtes bedst muligt repræsenteret. Resultaterne – i form af middeltal og variationsbredder for indhold af bor i de forskellige afgrøder – er vist i tabel 1.

Da bor ikke er et essentielt mineralstof for husdyrene, har kendskab til afgrødernes borindhold kun planteavlsmæssig interesse; i første række som grundlag for en beregning af de enkelte afgrøders optagelse af bor som led i en vurdering af borbalancen. Kendskab til borbalancen har interesse af flere grunde, bl.a. i forbindelse med spørgsmål om tilsætning af bor til handelsgødninger.

På grundlag af middeltal for de enkelte afgrøders borindhold og statistiske oplysninger om deres dyrkningsareal og udbytte er den årlige bortførsel af bor fra Danmarks landbrugsareal beregnet til ca. 125 tons eller omkring 42 g pr. ha.

Under forudsætning af en »returprocent« på 85 for afgrødernes borindhold i staldgødning og ajle, og ud fra foreliggende data om indhold af bor som følgestof og tilsætning i handelsgødningerne, indhold af bor i kalkmidler og i nedbør og luft er den årlige borttilførsel til Danmarks landbrugsareal beregnet til ca. 468 tons eller omkring 156 g pr. ha. Borttilførselen er således mellem 3 og 4 gange større end bortførselen med afgrøderne.

En fuldstændig borbalance kan ikke opstilles, idet der ikke foreligger analysemateriale til grundlag for en beregning over tabet af bor ved udvaskning. Men ud fra den foreliggende opgørelse af øvrige tabs- og vindingsposter kan beregnes, at der gennemsnitlig kan udvaskes op til 115 g B pr. ha og år før balancen bliver negativ.

Summary

The boron content of agricultural crops in Denmark
Determinations of boron in agricultural crops of Denmark have until now been extremely few in

numbers, and consequently the calculation of boron uptake in the crops so far could only be based upon experimental data from abroad, which could not without reservation be considered valid for conditions in Denmark. To get more precise information we have determined boron in 237 samples of various crops selected in such a way as to represent different geographical regions and soil types as equitable as possible. Table 1 shows the results expressed as mean content and latitude of variation for the various crops.

Boron is not an essential mineral nutrient for domestic animals, and for this reason the knowledge of crop boron content claims interest from the aspect of plant production only, and primarily for calculating the boron uptake as a factor in an estimation of the boron balance. Information about this balance is important in several respects, i. a., the enrichment of industrial fertilizers with boron.

The annual removal of boron in crops from the whole agricultural area of Denmark was estimated at a total of 125 tons, or approx. 42 g/hectare. This estimation was based on the average boron content determined in the individual crops, combined with statistical information on the areas grown to the various crops and the yields obtained.

The total annual supply of boron to the whole agricultural area of Denmark was estimated at approx. 468 tons, or roughly 156 g/hectare. This figure was reached by assuming an 85 pct return of ingested plant boron in solid and liquid manure, plus amounts of boron, according to available data, (a) as accessory element and added enrichments in industrial fertilizers, (b) in agricultural lime, and (c) derived from precipitation and atmosphere. The supply of boron from these combined sources thus exceeds the crop removal by some 3 to 4 times.

A complete balancesheet cannot yet be calculated, owing to the lack of analytical data for determining the loss of boron through leaching from soil. Nevertheless, from the present account of the gains and losses here discussed it may be calculated that the average loss of boron through leaching may reach some 115 g/hectare per annum before a negative boron balance exists.

Litteratur

- Arbejdsmetoder, III del, 1963. – Fælles arbejds- metoder for jordbundanalyser, 35-37. – A/S J. H. Schultz Bogtrykkeri, København.
- Bertrand, G., og de Waals, H., 1938. – Annales Agronomiques, 6, 537-41. Ref.: K. C. Berger: Boron in soils and crops. Advances in Agronomy, 1, 1949, 344.
- Henriksen, Aage, 1964. – Om afgrødernes mineral- stofindhold. – Tidsskrift for Planteavl, 68, 784-804.
- Jensen, J., 1962. – Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. – Tidsskrift for Planteavl, 65, 894-906.
- Jensen, J., 1964. – Vekselvirkningen mellem kalk og bor. – Tidsskrift for Planteavl, 68, 135-144.
- Kick, H., 1962. – Gedanken zur Spurenelement- versorgung der Kulturpflanzen. – Landwirt- schaftliche Forschung, 16. Sonderheft, 1-17.
- Landbrugsstatistik, 1967. – Det statistiske Depar- tement, København.
- Philipson, T., 1953. – Boron in plant and soil with special regard to Swedish agriculture. – Acta Agriculturae Scandinavica, 3. 121-242.
- Steenbjerg, F., 1940. – Mangan, Kobber og Bor i Staldgødning, Ajle og Handelsgødning. – Tids- skrift for Planteavl, 44, 373-387.
- Steenbjerg, F., og Boken, E., 1943. – Mangan, Kobber og Bor i Vaarsæd på forskellige Udvik- lingsstadier. – Tidsskrift for Planteavl, 47, 100-131.
- Steenbjerg, F., 1965. – Planternes Ernæring, 1, 435. DSR Forlag, København.
- Svanberg, O., 1962. – De svenska skördeproduk- ternas innehåll av biogena element. – GKS skrift- serie 3. Forlag: Växt-Närings-Nytt, Stockholm.
- Sørensen, S. P. og Frederiksen, J., 1967. – Kalk- midlernes følgestoffer. Hedeselskabets Tidsskrift, nr. 6, 1967, 1-7.
- Warrington, K., 1923. – The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. – Ann. of Bot., 37, 629-672.
- Wittstein, A. and Apoiger, F., 1857. – Ann. Chem. Pharmacie Liebig, 103, 362-365. Ref.: K. C. Berger: Boron in soils and crops. Advances in Agronomy, 1, 1949, 322.