

# KVÆLSTOFFIKSERENDE BAKTERIER I **BIOSTIMULANTER**



KVÆLSTOFFIKSERENDE BAKTERIER I BIOSTIMULANTER

**Udgivet af**

SEGES Innovation P/S  
Agro Food Park 15, Skejby  
DK 8200 Aarhus N

**Forfatter**

Nadja Fuglkjær Bloch, SEGES Innovation  
Planteernæring

**Kontakt**

Nadja Fuglkjær Bloch, SEGES Innovation  
M +45 2328 5049

**Forsidefoto**

SEGES Innovation

December 2024

Denne publikation må kopieres efter aftale med SEGES.

Projektnr.: 104214

STØTTET AF

**Plante**afgiftsfonden

## Sammendrag

Biostimulanter omfatter en række forskellige stoffer og mikroorganismer, som anvendes til afgrøders blade eller rødder med det formål at forbedre vækst, udbytte og kvalitet. Dette sker ved at biostimulanter øger tilgængeligheden af næringsstoffer, forbedrer næringsoptagelsen og effektiviserer nærings-udnyttelsen. Samtidig kan nogle biostimulanter potentielt også styrke afgrødernes modstandsdygtighed over for både biotiske og abiotiske stressfaktorer. Biostimulanter kan derfor defineres som produkter, der ved tilføjelse har til formål at stimulere afgrødens naturlige processer for at understøtte og optimere optag af næringsstoffer, næringseffektivitet, afgrødekvalitet og tolerance mod abiotisk stress. Interessen for og markedet for biostimulanter er steget markant i de seneste årtier, hvilket især skyldes forventningen om, at de kan reducere behovet for handelsgødning uden at begrænse afgrødernes produktivitet og kvalitet. Samtidig formodes biostimulanter at kunne bidrage til en mere bæredygtig land-brugspraksis ved at beskytte afgrøder mod forskellige stressfaktorer, herunder dem, der er forårsaget af klimaforandringer, som i stigende grad udfordrer landbruget.

Blandt de forskellige typer biostimulanter er produkter med kvælstoffikserende bakterier vokset i popularitet, da de hævdes at kunne fikse atmosfærisk kvælstof og dermed bidrage til afgrødernes kvælstofforsyning. Trods den voksende interesse og omfattende markedsføring er der dog stadig begrænset uafhængig dokumentation af effekten af disse produkter, især under danske forhold.

Denne rapport har til formål at give et overblik over de forskellige typer af biostimulanter med særligt fokus på biostimulanter, der indeholder kvælstoffikserende bakterier. Herunder undersøges, hvilke kvælstoffikserende bakterier anvendes i Danmark, samt deres indvirkning på afgrødeudbyttet baseret på videnskabelig litteratur. Uafhængige internationale studier har vist, at kvælstoffikserende bakterier kan øge udbyttet af forskellige afgrøder, men resultaterne varierer afhængigt af de lokale forhold. I Danmark har traditionelle parcellforsøg indtil videre ikke påvist væsentlige effekter af kvælstoffikserende bakterier på afgrødeudbytter. Derudover er antallet af undersøgelser, der vurderer effekten på udbyttet, begrænset både internationalt og især under danske forhold. Der er derfor et behov for yderligere forskning for at dokumentere de udbyttømæssige effekter af biostimulanter med kvælstoffikserende bakterier under danske betingelser og afklare, hvilke faktorer der skal være til stede for at opnå de forventede resultater og udbytteforbedringer.

# Biostimulanter – typer og effekter

## Definition

Biostimulanter er et relativt nyt begreb, hvilket har ført til mange diskussioner om deres definition gennem det sidste årti. I Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2019/1009 blev der i 2019 vedtaget en definition, hvilket betyder, at biostimulanter nu er defineret som følgende inden for EU-kontekst [1]:

”En biostimulant til planter er et EU-gødningsprodukt, hvis funktion er at stimulere plantenæringsstofprocesser uafhængigt af produktets næringsstofindhold med det ene formål at forbedre et eller flere af følgende kendetegn ved planten eller planterodzonen:

- i) Næringsstofudnyttelse
- ii) Tolerance over for abiotisk stress
- iii) Kvalitetssegenskaber
- iv) Tilgængelighed af afgrænsede næringsstoffer i jorden eller rodzonen.”

Forordningen deler derudover biostimulanter i to hovedgrupper:

- a) Mikrobielle biostimulanter til planter
- b) Ikke-mikrobielle biostimulanter til planter

Biostimulanter godkendes generelt under gødningsforordningen. Forsøg viser dog, at nogle biostimulanter også har tendens til at øge tolerancen over for biotisk stress fra skadevoldere. Hvis dette er formålet med produktet, skal det i stedet defineres som et plantebeskyttelsesmiddel, og det bliver dermed underlagt en anden forordning [2, 1].

## Grupper af biostimulanter

Biostimulanter repræsenterer en bred vifte af produkter med meget forskelligartede indholdsstoffer og virkemekanismer. Biostimulanter opdeles i to hovedgrupper ud fra kategoriseringen lavet af Du Jardin [3]:

- Mikrobielle biostimulanter, som indeholder levende mikroorganismer, såsom bakterier og svampe.
- Ikke-mikrobielle biostimulanter, som omfatter naturlige eller syntetiske substanser såsom humus- og fulvinsyrer, proteinhydrolysater, uorganiske forbindelser, chitosan og andre bipolymer eller ekstrakter fra tang og planter.

Tabel 1 nedenfor præsenterer en oversigt over de forskellige grupper af biostimulanter samt en overordnet beskrivelse af deres formodede effekter.

*Tabel 1. Gruppering af biostimulanter efter type og formodede effekter. Kilde: Du Jardin, 2015 [3].*

Type af Biostimulanter	Formodentlige effekter
Humus- og fulvussyrer	Forbedrer røddernes optagelse af næringsstoffer og stimulerer øget rodvækst.
Proteinhydrolysater og andre N-holdige forbindelser	Interagerer med signalstoffer, der regulerer røddernes optagelse af kvælstof, påvirker hormonelle processer i planten, øger mikronæringsstoffernes mobilitet i jorden og deres optagelse i rødderne, samt stimulerer mikrobiel biomasse og aktivitet i jorden.
Uorganiske forbindelser (ikke mineraler)	Stimulere enzymaktivitet i planten, har en antioxidantvirkning og styrker plantens cellevægge.

Chitosan og andre biopolymer	Binder sig til forskellige receptorer i planteceller og udløser planterespons ved aktivering af forsvarsgener mod skadevirkninger fra patogener og abiotisk stress.
Ekstrakter fra tang og planter	Stimulerer jordens mikroorganismer og fremmer hormonelle interaktioner, som kan have indvirkning på frøspiring, etablering og vækst.
Gavnige svampe	Øger plantens næringsstofoptagelse og forbedrer stress tolerance.
Gavnige bakterier	Øger tilgængeligheden af visse næringsstoffer i jorden og letter deres optagelse gennem rødderne.

En mere dybdegående forklaring af ovenstående biostimulanter og deres formodede effekter kan findes i [Du Jardin, 2015 \[3\]](#).

### Kvælstoffikserende bakterier

Dette litteraturstudie fokuserer på biostimulanter, der indeholder kvælstoffikserende bakterier, som tilhører gruppen af gavnlige bakterier (tabel 1). Disse bakterier kan omdanne atmosfærisk kvælstof ( $N_2$ ) til en simpel og opløselig form (primært  $NH_4^+$ ), som planter kan bruge til vækst. Ved at anvende kvælstoffikserende biostimulanter kan behovet for kvælstoftilførsel gennem gødning formodentlig reduceres, da bakterierne bidrager med en del af kvælstoffet til afgrøderne eller alternativt bruges til at opnå højere udbytter. Kvælstoffikserende bakterier kan overordnet deles op i intracellulære symbiotiske, intercellulære endofytiske, fritlevende eller associative, afhængigt af hvor de lever i relation til værtsplanten, samt graden af afhængighed mellem planten og bakterien [4, 5]. Fritlevende og associative bakterier betegnes også ofte som Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) eller plantevækstfremmende bakterier på dansk [6].

Intracellulære symbiotiske bakterier lever inde i planteceller og danner en tæt symbiose med planten. Den mest kendte gruppe i denne kategori er *Rhizobia*, som danner rodknolde på bælgplanter, hvor de fikserer kvælstof i bytte for næring og et beskyttet miljø. En anden almindelig plante-mikrobe-symbiose, der involverer kvælstoffiksering, er symbiosen mellem actinorhizale planter, som betegner karplanter som lever i symbiose med de gram-positive actinobakterier fra slægten *Frankia*. *Frankia* danner ligesom *Rhizobia* rodknolde, hvorfra de fikserer kvælstof.

Intercellulære endofytiske bakterier lever mellem cellerne i plantevævet uden at trænge ind i dem, hvorfra de fikserer kvælstof. De opretholder et tæt forhold til værtsplanten ved at sprede og formere sig inde i plantevævet, men er ikke i direkte kontakt med plantens celler på samme måde som intracellulære symbionter. De trænger typisk ind i plantevævet gennem spalteåbningerne (stomata) eller gennem revner, for eksempel ved steder for dannelsen af siderødder [5]. Eksempler på disse bakterier inkluderer slægterne *Azoarcus*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter* og *Herbaspirillum* [7].

Fritlevende og/ eller associative kvælstoffikserende bakterier lever frit i jorden eller i vandige miljøer, og udfører kvælstoffiksering uden at indgå i tæt symbiose med en bestemt plante. Dette er den mest simple kvælstoffikserende symbiose, hvor bakterierne reagerer på planternes rodudskillelser ved enten at kolonisere planternes rhizosfære eller danner biofilm på røddernes overflade, hvor de i begge tilfælde kan udveksle næringsstoffer med planten, herunder det kvælstof, de fikserer [3]. Eksempler på sådanne bakterier tilhørende slægterne *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Burkholderia* og *Bacillus* [7].

## Tildelingsmetoder

Biostimulanter tildelles på forskellige måder afhængig af typen af biostimulant, afgrøde, miljøforhold og formålet med anvendelsen. Tildelingsmetoder kan opdeles i to typer: tildeling til jord og rødder, som inkluderer udvanding, frøcoating, topdressing og tankblanding, og tildeling til overjordiske plantedele som inkluderer bladgødskning [8]. Biostimulanter, der indeholder humusstoffer og kvælstofforbindelser,

påføres ofte direkte på jorden, mens forskellige typer ekstrakter fra planter og tang ofte tildeles via bladgødsning [9].

Udvanding indebærer tilsætning af biostimulanter til vandet, der anvendes til at vande afgrøderne. Formålet med denne fremgangsmåde er at sikre, at biostimulanterne fordeles jævnt i jorden, samt muliggøre at planternes rødder kan optage stofferne sammen med vandet [9].

Frøcoating indebærer at udsæden bejdses med en eller flere biostimulanter, som sikrer en ensartet eksponering af frøene. Denne metode bruges, når formålet er at påvirke processer i rodzonen og/ eller for at gøre visse næringsstoffer mere tilgængelige for planternes rødder. Frøcoating gøres for eksempel ofte med gavnlige bakterier, som skal kolonisere rhizosfæren.

Topdressing er en metode, hvor biostimulanter påføres direkte på jordoverfladen omkring afgrøderne. Dette kan gøres ved at blande dem i jord eller kompost, eller ved at anvende et biostimulant på pulver- eller granulatform. Fordelen ved topdressing er, at det ikke kræver jordbearbejdning, hvilket er nyttigt for allerede etablerede afgrøder. Dog er denne metode ikke altid lige så effektiv som andre tildelingsmetoder.

Tankblanding er en metode, hvor udvalgte biostimulanter, afhængig af produktet, kan blandes med gødning og/ eller plantebeskyttelsesmidler, i samme tank før påføring til jorden. Dette gør det muligt at anvende flere produkter samtidig, hvilket kan spare tid og arbejdskraft. Det er dog vigtigt at sikre kompatibilitet mellem de blandede produkter for at undgå negative interaktioner.

Bladgødsning er en metode, hvor biostimulanterne fortyndes i vand og sprøjtes direkte på afgrødernes blade. Denne metode virker formentlig hurtigt, da planten kan optage de aktive forbindelser gennem bladene f.eks. gennem stomata, uden at skulle vente på, at stofferne trænger ned i jorden og optages af rødderne. Dog kan effekten blive reduceret af vejrforhold såsom nedbør, og korrekt timing er dermed essentiel.

## Hvilke biostimulanter med kvælstoffikserende bakterier anvendes i Danmark

De seneste år er der blevet markedsført et stigende antal produkter med kvælstoffikserende bakterier i Danmark. Nedenfor er en oversigt over de mest almindelige slægter af bakterier, hvor nogle arter er kvælstoffikserende, som anvendes i biostimulanter i Danmark, samt eksempler på produkter, der indeholder disse bakterier.

### **Azotobacter**

- Fritlevende bakterier, der findes i jorden.
- Aerobe (bruger ilt til vækst, men kan overleve iltfrie forhold i kortere perioder).
- Kan danne tykvæggede cyster, også kaldet dvaleceller, som gør dem i stand til at overleve under ugunstige forhold.
- Følsomme over for faktorer som pH-niveau, jordfugtighed, høje saltkoncentrationer og temperaturændringer.
- Der kendes omkring seks arter inden for denne slægt, hvoraf størstedelen er kvælstoffikserende [10, 11].
- Et biostimulant, der indeholder *Azotobacter* og bruges i Danmark, er Vixeran fra Syngenta, som indeholder *Azotobacter salinestris* (stamme CECT 9690).

### **Arthrobacter**

- Fritlevende bakterier, der typisk findes i forskellige miljøer som jord, vand og planteaffald.
- Obligate aerobe (kræver ilt for at overleve og vokse).
- Kan tilpasse sig skiftende miljøforhold.
- Danner ikke cyster, men overlever ugunstige forhold ved at danne stabile celler.
- Et biostimulant, der indeholder *Arthrobacter* og findes på det danske marked, er AzotoPower fra BASF, som indeholder kvælstoffikserende bakterier fra både slægterne *Arthrobacter* og *Azotobacter*.

### **Methylobacterium**

- Ofte associeret med planter, især på planteoverflader eller i rodzonen, men nogle arter er også rapporteret som endofytiske.
- Fakultativt aerobe (kan overleve i både tilstedeværelse og fravær af ilt, men vokser bedre med ilt)
- Slægten er kendt for kvælstoffikserende evner [12].
- Danner ikke cyster og er generelt følsomme over for ekstreme miljøforhold, men har evnen til at kolonisere en bred vifte af habitater, herunder jord, vand, luft og bladoverflader.
- Fremmer også plantevækst ved at omdanne planteekstrakter til sekundære metabolitter, såsom væksthormonerne cytokinin og auxin.
- Biostimulanter, der indeholder *Methylobacterium* og anvendes i Danmark, inkluderer BlueN fra Corteva, som indeholder *Methylobacterium symbioticum* (stamme SB23), samt N-foliar fra Bioenergy LT, som indeholder *Methylobacterium phyllosphaerae* (stamme MVY-033).

### **Peribacillus**

- Associeret med planter og lever primært i jorden og omkring planterødder.
- Enten aerobe (bruger ilt til vækst, men kan overleve iltfrie forhold i kortere perioder) eller fakultativt anaerobe (kan overleve og vokse både i tilstedeværelse og fravær af ilt).
- Kan danne endosporer, som er modstandsdygtige strukturer, der hjælper med overlevelse under ugunstige forhold.
- Kan også fremme plantevækst gennem forskellige mekanismer, herunder produktion af plantehormoner, kontrol af plantepatogener og forbedring af næringsstoffoptagelsen.
- Slægten omfatter 21 arter, og nogle af disse arter er i stand til at fikserer kvælstof [13].
- I Danmark findes biostimulanter med *Peribacillus*, såsom produktet Veradyn fra Adama, som indeholder *Peribacillus simplex* (stamme CB20070).

### **Paenibacillus**

- Fritlevende i rodzonen eller associeret med planterødder.
- Enten fakultativt anaerobe (kan overleve og vokse både i tilstedeværelse og fravær af ilt) eller aerobe (bruger ilt til vækst, men kan overleve iltfrie forhold i kortere perioder).
- Kendt for deres alsidige metaboliske evner og for at kunne danne endosporer, hvilket gør dem modstandsdygtige over for ugunstige forhold.
- Findes i forskellige miljøer som jord, vand, planterødder og kompost, og de kan også tolerere ekstreme forhold samt interagere med en bred vifte af planter.
- Slægten *Paenibacillus* omfatter i øjeblikket over 150 navngivne arter, hvoraf omkring 20-25 har evnen til at fikserer kvælstof [14].
- I Danmark anvendes biostimulanter med *Paenibacillus*, såsom AzofixPlus fra Bioenergy LT, som indeholder *Paenibacillus polymyxa* (stamme MVY-024).

### **Gluconacetobacter**

- Endofytiske bakterier, der koloniserer intercellulære rum i planternes rødder og stængler uden at danne komplekse rodstrukturer som knolde.
- Aerobe (bruger ilt til vækst, men kan overleve iltfrie forhold i kortere perioder).

- Den mest kendte art inden for slægten er *Gluconacetobacter diazotrophicus*, som også er den eneste beskrevne art i slægten, der kan fikserer kvælstof [15].
- Obligatorisk endofyt, der ikke kan overleve i jorden i mere end to dage uden en plantevært, men kan blandt andet overleve i rodhårene i en værtsplantes rhizosfære.
- I Danmark er et eksempel på et biostimulant, der indeholder *Gluconacetobacter*, Encera fra Azotic, som netop indeholder *Gluconacetobacter diazotrophicus*.

## Resultater fra forsøg

Mange biostimulanter markedsføres uden uafhængig dokumentation for deres effektivitet, hvilket understreger behovet for at undersøge deres virkning. I det følgende præsenteres resultater fra internationale studier om kvælstoffikserende bakterier med fokus på deres effekter på udbytte. Da der er få undersøgelser af disse bakteriers effektivitet under danske forhold, vil vi primært fokusere på internationale forsøg, men også inddrage relevante resultater fra tidligere landsforsøg i Danmark for at give et indblik i de danske forhold. De internationale forsøg er meget vidt spredte i forhold til geografisk placering, og de forhold, som de kvælstoffikserende bakterier er testet under, er dermed meget anderledes end de danske forhold, hvilket skal holdes i mente.

### Forsøg fra udlandet

Das & Saha [16] undersøgte i et markføg effekten af at inokulere ris med bakterierne *Azotobacter* (stamme AS<sub>8</sub>) og *Azospirillum* (stamme AM<sub>1</sub>) i Indien. Forsøget omfattede delvis gødskning (50 kg N pr. ha) af de bakteriebehandlede grupper samt en kontrolgruppe uden bakterier, der blev fuldgødsket (100 kg N pr. ha). Resultaterne viste, at den kombinerede inokulation med begge bakterier øgede udbyttet med 4,8 kg pr. plot, hvilket svarer til en stigning på cirka 57% sammenlignet med kontrolgruppen. Inokulation med kun én af bakterierne gav mindre udbyttestigninger, med 31% for *Azotobacter* og 21% for *Azospirillum*. Kontrolgruppen, der modtog 100 kg kvælstof pr. ha, opnåede et højere udbytte end grupperne med enkelt inokulation. Merudbytter blev således kun opnået ved brug af begge bakteriestammer i forhold til den fuldgødskede kontrol.

Lignende blev observeret i et flerårigt forsøg i Polen, hvor Plaza et al. [17] fandt, at inokulation med *Azospirillum lipoferum* (stamme Br<sub>17</sub>) og *Azotobacter chroococcum* resulterede i en udbyttestigning af vårbyg sammenlignet med kontrolplottet uden kvælstoffikserende bakterier. Tilsvarende rapporterede Silva et al. [18] fra Brasilien, at *Azospirillum brasilense*, anvendt ved frøinokulation, øgede kornudbyttet med 25% (1,1 ton pr. ha) sammenlignet med kontrolgruppen.

I et markforsøg i Egypten undersøgte El-Sorady et al. [19] effekten af inokulering med *Azotobacter chroococcum* i kombination med forskellige niveauer af kvælstofgødning på udbyttet af tre hvedesorter. Forsøget omfattede behandlinger med en fuldgødsket kontrolbehandling (med den anbefalede mængde på 180 kg N pr. ha), og med *Azotobacter* alene samt i kombination med 25%, 50%, 75% af den anbefalede kvælstofmængde. Resultaterne viste, at kombinationen af 75% kvælstof og *Azotobacter* gav de bedste resultater, med en stigning i udbyttet og andre vækstparametre på 30-50% sammenlignet med lavere kvælstofniveauer eller anvendelse af *Azotobacter* alene. Denne kombination gjorde det muligt at reducere kvælstofmængden med 25%, samtidig med at udbyttet blev forbedret. Undersøgelsen indikerede desuden, at effekten af *Azotobacter* varierede mellem hvedesorterne, hvilket tyder på, at sortvalget kan påvirke effekten af inokuleringen.

I USA udførte Souza et al. [20] et markforsøg i Minnesota, hvor de undersøgte effekten af et biostimulant med *Azotobacter vinelandii* og *Clostridium pasteurianum*, samt andre sekundære organismer, som havde til formål at understøtte funktionen af biostimulanterne. Dette blev kombineret med forskellige niveauer af kvælstofgødning over to vækstsæsoner. Forsøget omfattede behandlinger med de kvælstoffikserende bakterier alene samt kombinationer med 100% (253 kg N pr. ha) og 67% (168 kg N pr. ha) af den anbefalede kvælstofmængde. Resultaterne viste, at anvendelsen af kun kvælstoffikserende



bakterier i det første år resulterede i en stigning i kartoffeludbyttet på 9-13% sammenlignet med gødning alene, og særligt i forhold til behandling med 100% kvælstofgødning. I det andet år var resultaterne mere blandede, hvor udbyttet kun steg ved lavere kvælstofniveauer. Samlet set indikerede forsøget, at produktet med *Azotobacter vinelandii* og *Clostridium pasteurianum* kunne øge udbyttet, men effekten varierede afhængigt af vækstsæsonen og niveauet af kvælstofgødning.

### Danske forsøg

I Danmark er kvælstoffikserende bakterier blevet undersøgt i LANDSFORSØGENE over flere år i en række forskellige afgrøder, herunder vinterhvede, vårbyg, vinterraps, majs og kartofler [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

I LANDSFORSØGENE 2023 blev effekten af kvælstoffikserende bakterier på udbyttet af vinterhvede undersøgt [21], hvor biostimulanterne BlueN fra Corteva og Vixeran fra Syngenta blev testet i en serie af tre markforsøg. Produkterne blev anvendt i kombination med 50 og 150 kg kvælstof pr. ha. Resultaterne viste ingen signifikant effekt af biostimulanterne på udbyttet af vinterhvede sammenlignet med behandlinger med samme kvælstoftildeling uden biostimulanter.

I 2024 fortsatte forsøgene med de samme biostimulanter som i 2023 (BlueN og Vixeran), og derudover blev Veradyn fra Adama og AzotoPower fra BASF også undersøgt dette år. Biostimulanterne blev anvendt i vinterhvede som supplement til 150 kg kvælstof pr. ha og i vårbyg som supplement til 80 kg kvælstof pr. ha. Derudover blev BlueN undersøgt i vinterraps i efteråret. Resultaterne viste ingen signifikant effekt af biostimulanterne med kvælstoffikserende bakterier på afgrødeudbyttet [22].

Yderligere undersøgelser i LANDSFORSØGENE fokuserede i perioden 2022-2023 på forskellige typer biostimulanter fra det litauiske firma Bioenergy LT, herunder biostimulanter med kvælstoffikserende bakterier, som blev testet i kornafgrøder. Formålet var at vurdere, om det var muligt at opnå samme udbytte og kvalitet i korn ved at erstatte dele af gødningen med biostimulanter [23, 24]. I 2022 blev Azofix Plus fra Bioenergy LT testet i vinterhvede i 2022. I disse forsøg blev der tildelt 30 kg kvælstof pr. ha mindre end normen, da biostimulanterne skulle kompensere for den reducerede kvælstoftildeling. Resultaterne viste en signifikant lavere udbytte i behandlingen med den reducerede gødningsmængde og biostimulanter sammenlignet med kontrolgruppen, der var uden biostimulanter og med anbefalede gødningsmængde. I 2023 viste undersøgelserne heller ikke signifikante effekter af biostimulanter på hverken kvalitetsparametre eller udbytte af vinterhvede ved reduceret gødskning. Forsøgene fortsatte i 2024 i vårbyg, og resultaterne viste ingen signifikant effekt på udbyttet ved brug af biostimulanter som supplement til gødskning, men et signifikant udbyttetab, hvis dele af eller hele gødskningen blev erstattet med biostimulanter [25].

I LANDSFORSØGENE blev der derudover afprøvet fire biostimulanter med kvælstoffikserende bakterier i majs i 2024, herunder Vixeran, BlueN, Veradyn og AzotoPower, som blev udsprøjtet i parceller tildelt 100 kg kvælstof pr. ha ved såning [26]. Der blev ikke fundet nogen signifikant effekt på majsudbyttet. Tværtimod blev der høstet lidt lavere udbytter i forsøgsled behandlet med biostimulanterne, men udbytteforskellen var ikke signifikant.

Derudover blev der i 2024 udført forsøg med Vixeran i kartofler, som blev tildelt enten 175 kg kvælstof pr. ha (100% af forventet optimum) eller 131 kg kvælstof pr. ha (75% af forventet optimum), givet som fast gødning ved lægning. Der blev ikke fundet nogen signifikante effekter af Vixeran på kartoffeludbyttet ved nogen af de to kvælstofniveauer [27].

Selvom flere internationale studier har påvist udbytteforøgelser ved brug af kvælstoffikserende bakterier, er resultaterne ikke entydige. Disse forsøg viser, at biostimulanter effektivitet varierer afhængigt af flere faktorer, herunder bakteriestammer, afgrødetype, kvælstoftildeling og miljøforhold. Dette stemmer overens med generelle observationer af biostimulanter, hvor effekterne ofte beskrives som inkonsekvente på grund af mange forskellige påvirkende faktorer [28, 29].

Under danske forhold er effekten af biostimulanter med kvælstoffikserende bakterier blevet undersøgt i LANDSFORSØGENE gennem flere år i forskellige afgrøder, men der er indtil videre ikke fundet nogen signifikant effekt på afgrødeudbyttet. Dette fremhæver behovet for yderligere dokumentation af biostimulansers effekt og de optimale forhold for deres anvendelse.

Samtidig er flere studier under danske forhold nødvendige for at fastslå, hvor og hvornår biostimulanter kan have en positiv effekt på afgrødeudbyttet eller andre kvalitetsparametre i Danmark, samt hvilke typer der skal bruges, hvornår de skal anvendes, og hvilke betingelser der skal være opfyldt for at opnå dette.

#### *Mulige årsager til varierende effekter*

Den videnskabelige litteratur om kvælstoffikserende bakterier er ofte præget af teoretiske tilgange til deres virkning, og der er generelt mangel på omfattende dokumentation fra praktiske markforsøg. De tilgængelige studier varierer betydeligt i geografisk placering og viser ofte inkonsekvente resultater, både mellem forskellige undersøgelser og inden for de samme forsøg, som påvist ovenfor. Mange af de offentliggjorte studier er desuden udført under kontrollerede forhold, såsom i potteeksperimenter, vækstkamre, drivhuse eller med steriliseret jord. Resultaterne og effekterne heraf kan derfor ikke direkte overføres til virkningen i praksis, da der er en række faktorer, der kan påvirke effekten af biostimulanter på marken. Nogle af disse faktorer inkluderer:

- **Klimatiske forhold:** temperatur, temperaturekstremer og -variationer, vind, nedbør og mikroklima
- **Jordbundsforhold:** jordstruktur og -tekstur, pH, redoxforhold, iltindhold, dræningsforhold, varierede næringsstofftilgængelighed
- **Dyrkningspraksis:** afgrøde- og sortvalg, forfrugt, såbedstilberedning, etablering, gødsning, ukrudt, sygdoms- og skadedyrstryk

I forhold til kvælstoffikserende bakterier er oprindelsen af de kvælstoffikserende bakterier i biostimulanter en vigtig faktor, da den påvirker deres evne til at kolonisere jorden eller afgrøderne og dermed deres effektivitet. Mange mikroorganismer er tilpasset specifikke miljøer, hvilket betyder, at mikroorganismer fra ét klima kan have vanskeligheder med at trives i et andet, hvis jordforhold, temperaturer eller pH-værdier afviger markant fra deres oprindelige habitat. Derudover kan de stå over for konkurrence fra lokale og hjemmehørende mikroorganismer, idet der allerede findes tusindvis af arter, som er veletablerede i jorden. Deres evne til at kolonisere kan også være begrænset, hvis de ikke er tilpasset den specifikke afgrøde [30, 31].

Dette tyder på, at biostimulanter med kvælstoffikserende bakterier ikke er et universelt produkt, og at en bedre effekt muligvis kan opnås, hvis man formulerer og anvender biostimulanter, der er tilpasset lokale betingelser såsom klimaforhold, jordbundsforhold og afgrødetype [32, 33].

Forsøgsresultater tyder desuden på, at biostimulanter har vist sig at være mest effektive under suboptimale dyrkningsforhold og i tørre klimaer [28, 34]. Denne øgede effektivitet i tørre klimaer skyldes sandsynligvis, at jorden i disse områder ofte har færre næringsstoffer og mindre organisk materiale sammenlignet med jorden i tempererede og tropiske klimaer. Dette resulterer i, at biostimulanterne har en mere signifikant effekt, og det kunne samtidig forklare, hvorfor man i Danmark ikke observerer lige så store effekter af biostimulanter som i andre dele af verden. Det samme gælder under suboptimale dyrkningsforhold, hvor biostimulanter kan hjælpe planter med at håndtere stress forårsaget af ugunstige vækstbetingelser og forbedre deres evne til at optage næringsstoffer og vand [34]. Hvorimod dyrkningsbetingelserne i Danmark er gunstige og udbytterne generelt er høje.

## Konklusion

Samlet set viser resultaterne, at selvom kvælstoffikserende bakterier og biostimulanter har vist potenti-ale for at forbedre afgrødeudbytter i nogle internationale studier, er effekterne langt fra entydige. Effek-ten virker i høj grad til at blive påvirket af faktorer som klimaforhold, jordbund, afgrødetype, sort og dyrkningspraksis. Specielt under danske forhold har forsøg ikke vist signifikante forbedringer i afgrøde-udbytte ved anvendelse af kvælstoffikserende biostimulanter. Dette kan skyldes, at danske dyrknings-forhold ofte er mere gunstige, sammenlignet med de suboptimale og tørre klimaer, hvor biostimulanter typisk har vist størst effekt. Samt at bakterierne som produkterne er formuleret med, muligvis ikke er tilpasset danske betingelser. Der er derfor behov for flere studier med biostimulanter, herunder biosti-mulanter med kvælstoffikserende bakterier, under danske forhold for at forstå, hvilke betingelser der kan føre til en succesfuld anvendelse i fremtiden.

## Referencer

- [1] Regulation, E. U. (2019). 1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amend-ing Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. 2019. J. Eur. Union, 170, 1-114.
- [2] Nielsen, G. C. (2019). Hvad er biostimulanter og øger de udbytterne? Landbrugsinfo: [Hvad er biostimulanter og øger de udbytterne?](#)
- [3] Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regula-tion. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14.
- [4] Cortes, A. D., & Nahar-Cortes, S. (2022). Biological Nitrogen Fixation in the Rhizosphere of Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Coffee (*Coffea* spp.) and its Role in Sustainable Agriculture. Nitrogen Fixing Bacteria: Sustainable Growth of Non-legumes, 215-231.
- [5] Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Garcia Costas, A., Geddes, B. A., Kouri, E. D., ... & Peters, J. W. (2016). Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. *Applied and environmental microbiology*, 82(13), 3698-3710.
- [6] Glick, B. R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian journal of microbiology*, 41(2), 109-117.
- [7] Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255:571–586.
- [8] Enni, J. A. (2022). Biostimulanter i dansk, økologisk planteavl. Innovationscenter for Økolo-gisk Landbrug: [biostimulanter-i-dansk-oekologisk-planteavl.pdf \(icoel.dk\)](#)
- [9] Drobek, M., Fraç, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. *Agronomy*, 9(6), 335.
- [10] Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). Azotobacter: A potential bio-ferti-lizer for soil and plant health management. *Saudi journal of biological sciences*, 27(12), 3634-3640.

- [11] Nongthombam, J., Kumar, A., Sharma, S., & Ahmed, S. (2021). Azotobacter: A complete review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*, 10, 72-79.
- [12] Rahim, A. A., Ibrahim, N. A., Ishak, F. N., Mean, L. J., Ayub, N. A. M., & Fazilah, N. N. (2021, May). Investigation of newly isolated methylobacterium sp. as potential biofertilizer. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 765, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- [13] Manetsberger J, Caballero Gómez N, Soria-Rodríguez C, Benomar N, Abriouel H. Simply Versatile: The Use of *Peribacillus simplex* in Sustainable Agriculture. *Microorganisms*. 2023 Oct 12;11(10):2540. doi: 10.3390/microorganisms11102540. PMID: 37894197; PMCID: PMC10608964.
- [14] Liu X, Li Q, Li Y, Guan G, Chen S. *Paenibacillus* strains with nitrogen fixation and multiple beneficial properties for promoting plant growth. *PeerJ*. 2019 Sep 23;7:e7445. doi: 10.7717/peerj.7445. PMID: 31579563; PMCID: PMC6761918.
- [15] Eskin, N., Vessey, K., Tian, L., Research Progress and Perspectives of Nitrogen Fixing Bacterium, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, in Monocot Plants, *International Journal of Agronomy*, 2014, 208383, 13 pages, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/208383>
- [16] Das, A. C., & Saha, D. (2007). Effect of diazotrophs on the mineralization of organic nitrogen in the rhizosphere soils of rice (*Oryza sativa*). *J. Crop Weed*, 3(1), 47-51.
- [17] Płaza, A., Niewiadomska, A., Górski, R., Rudziński, R., & Rzażewska, E. (2022). The effect of the nitrogen-fixing bacteria and companion red clover on the total protein content and yield of the grain of spring barley grown in a system of organic agriculture. *Agronomy*, 12(7), 1522.
- [18] Silva, P. S. T., Cassiolato, A. M. R., Galindo, F. S., Jalal, A., Nogueira, T. A. R., Oliveira, C. E. D. S., & Filho, M. C. M. T. (2022). *Azospirillum brasilense* and zinc rates effect on fungal root colonization and yield of wheat-maize in tropical savannah conditions. *Plants*, 11(22), 3154.
- [19] El-Sorady, G. A., El-Banna, A. A., Abdelghany, A. M., Salama, E. A., Ali, H. M., Siddiqui, M. H., ... & Lamlom, S. F. (2022). Response of bread wheat cultivars inoculated with azotobacter species under different nitrogen application rates. *Sustainability*, 14(14), 8394.
- [20] Souza, E. F., Rosen, C. J., & Venterea, R. T. (2019). Contrasting effects of inhibitors and biostimulants on agronomic performance and reactive nitrogen losses during irrigated potato production. *Field Crops Research*, 240, 143-153.
- [21] Nielsen K. F. (2023). Kvælstoffikserende bakterier til vinterhvede. LANDSFORSØGENE 2023. SEGES Innovation. s. 163.
- [22] Birkmose, T., Nielsen, J. A. (2024). Biostimulanter: Kvælstoffikserende bakterier og metabolismefremmere. LANDSFORSØGENE 2024. SEGES Innovation. s. 177-179.
- [23] Langgaard, M. K., Nielsen J. A. (2022). Mikronæringsstoffer og biostimulanter. LANDSFORSØGENE 2022. SEGES Innovation. s. 207-208.
- [24] Nielsen J. A. (2023). Biostimulanter til korn. LANDSFORSØGENE 2023. SEGES Innovation. s. 164-165.

- [25] Birkmose, T., Nielsen, J. A. (2024). Biostimulanter: Forsøg med biostimulanter i korn. LANDSFORSØGENE 2024. SEGES Innovation. s. 179-181.
- [26] Mikkelsen, M. (2024). Kvælstoffikserende bakterier til majshelsæd. LANDSFORSØGENE 2024. SEGES Innovation. s. 365.
- [27] Birkmose, T., Andersen, M. N. (2024). Gødskning: Delt gødningsstrategier med Flex Foliar N 18 og fast gødning samt anvendelse af Vixeran. LANDSFORSØGENE 2024. SEGES Innovation. s. 275-277
- [28] Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., & Mathimaran, N. (2018). Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization—A global meta-analysis. *Frontiers in plant science*, 8, 2204.
- [29] Herrmann, M. N., Wang, Y., Hartung, J., Hartmann, T., Zhang, W., Nkebiwe, P. M., ... & Yang, H. (2022). A global network meta-analysis of the promotion of crop growth, yield, and quality by bioeffectors. *Frontiers in Plant Science*, 13, 816438.
- [30] Sepp, S. K., Vasar, M., Davison, J., Oja, J., Anslan, S., Al-Quraishy, S., ... & Zobel, M. (2023). Global diversity and distribution of nitrogen-fixing bacteria in the soil. *Frontiers in plant science*, 14, 1100235.
- [31] Kızılkaya, R. (2008). Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*, 33(2), 150-156
- [32] Roupael, Y. (2024). Biostimulants in Plant Growing: Their Function and Role. Personlig kommunikation: præsenteret ved AU seminar. 3. Oktober 2024.
- [33] Gebremikael, M. T. (2024). Exploring the efficacy of plant biostimulants: Results and conclusion from Biogrowth project. Personlig kommunikation: præsenteret ved AU seminar. 3. Oktober 2024.
- [34] Li, J., Van Gerrewey, T., & Geelen, D. (2022). A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials. *Frontiers in Plant Science*, 13, 836702.



**SEGES Innovation P/S**  
Agro Food Park 15  
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000  
[info@seges.dk](mailto:info@seges.dk)  
[seges.dk](http://seges.dk)

**SEGES**  
INNOVATION