



---

# Literatuuronderzoek bakkwaliteit tarwe

Het effect van teeltmaatregelen op bakkwaliteit van tarwe

Auteurs | K.C.E.P. Meesters, J.E. van Santen, E. Reijnierse en R.D. Timmer

WPR-OT-1086



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

# Literatuuronderzoek bakkwaliteit tarwe

Het effect van teeltmaatregelen op bakkwaliteit van tarwe

K.C.E.P. Meesters, J.E. van Santen,  
E. Reijnierse, R.D. Timmer, <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen University & Research

Dit project is een Publiek Private Samenwerking Baktarwe Gaan voor lokaal Graan in het kader van de Topsector Agri en Food en wordt mede gefinancierd door BO Akkerbouw, Plantum, DSV-Zaden, Limagrain, RAGT, Saaten-Union, Semundo, Strube, Syngenta, Van der Bilt Zaden en Vlas, Wiersum Plantbreeding, Comité van Graanhandelaren, graan collecterende bedrijven (Agrifirm, CZAV, Van Iperen), de maalsector (Dossche, Koopmans) en de bakkerijsector (NBC, NVB en NBOV).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Lelystad, maart 2024

---

Rapport WPR-OT-1086

---

Meesters, K.C.E.P., Van Santen, J.E., Reijnierse, E., Timmer, R.D., 2024. *Literatuuronderzoek bak kwaliteit tarwe*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT-1086.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/653903>

© 2024 Lelystad, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem  
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-OT-1086

Foto omslag: Beeldbank WUR



---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Actuele samenvatting van de invloed van teelt op bakkwaliteit</b>	<b>8</b>
1.1 Wat is bakkwaliteit?	8
1.2 Effect eigenschappen meel op bakkwaliteit	8
1.2.1 Eiwitgehalte	8
1.2.2 Eiwitsamenstelling	9
1.3 De invloed van teeltmaatregelen op bakkwaliteit	10
1.3.1 Rassenkeuze	10
1.3.2 Tarwetype	12
1.3.3 Stikstofbemesting	12
1.3.4 Zwavel	13
1.3.5 Gewasbescherming en groeiregulatoren (biotische factoren)	13
<b>2 Integratie</b>	<b>15</b>
2.1 Wat is bakkwaliteit?	15
2.2 Effect eigenschappen meel op bakkwaliteit	15
2.3 Hoe beïnvloed je met teeltmaatregelen het eiwitgehalte, eiwitsamenstelling en bakkwaliteit?	15
2.3.1 Rassenkeuze en tarwetype	16
2.3.2 Bemesting	16
2.3.3 Mesttypen alternatief	17
2.3.4 Zwavel	18
2.3.5 Bodemtoestand en andere nutriënten	18
<b>3 Conclusies en aanbevelingen voor (bemestings)onderzoek in relatie tot bakkwaliteit</b>	<b>20</b>
<b>Literatuur</b>	<b>21</b>



---

# Woord vooraf

In dit rapport wordt een literatuurstudie naar het effect van teeltmaatregelen op bakkwaliteit van tarwe uiteengezet.

Het rapport is onderverdeeld in twee delen. In het eerste deel (Hoofdstuk 1: Actuele samenvatting van invloeden op bakkwaliteit) is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van verschillende Nederlandse, Belgische, Duitse, Franse en Britse onderzoeken. Deze zijn apart samengevat en er wordt toegelicht wat de resultaten van deze onderzoeken kunnen betekenen voor de Nederlandse baktarweteelt. Om zo relevant mogelijk te zijn voor de Nederlandse praktijksituatie te maken is er gefocust op onderzoek uit Nederland en omliggende landen. Er zijn bij voorkeur veldstudies meegenomen terwijl kas- en potexperimenten pas zijn gebruikt wanneer veldstudies niet beschikbaar waren. Daarnaast lag de focus op studies waarbij het effect van teeltmaatregelen op bakkwaliteit, zoals bijvoorbeeld broodvolume, is nagegaan. Wanneer zulke bakkwaliteitsstudies niet gevonden konden worden zijn studies gebruikt die naar eigenschappen kijken die een indirecte invloed hebben op de bakkwaliteit, zoals studies die het effect van teeltmaatregelen op het eiwitgehalte of de eiwitsamenstelling nagaan.

Het tweede gedeelte van het rapport (Hoofdstuk 2: Integratie) bestaat uit een meer verkennende discussie over en integratie van de wereldwijde kennis wat betreft het effect van teeltmaatregelen op bakkwaliteit. Dit gedeelte richt zich op wereldwijde literatuur en neemt ook potstudies mee. Op deze manier kan het eerste gedeelte gezien worden als een samenvatting van de meer relevante kennis die relatief makkelijk toe te passen is in Nederland terwijl het tweede gedeelte interessante nieuwe wegen om bakkwaliteit te bevorderen kan blootleggen. Deze nieuwe wegen zijn echter wel onzekerder en vormen dan ook de basis voor verdergaande experimenten (binnen bijvoorbeeld de PPS baktarwe) die nieuwe mogelijkheden testen onder Nederlandse omstandigheden.



---

# Samenvatting

In het kader van de PPS Nederlandse Baktarwe - Gaan voor Lokaal Graan heeft WUR Open Teelten een literatuurstudie uitgevoerd om te bezien welke teeltmaatregelen effect hebben op de bakkwaliteit van tarwe. De studie maakt onderdeel uit van het deelpakket duurzame teeltstrategie van baktarwe.

Uit de studie blijkt dat de bakkwaliteit vooral wordt bepaald door het eiwitgehalte en de samenstelling van het eiwit. De facetten rassenkeuze en stikstofbemesting spelen de grootste rol in de teelt om op bakkwaliteit te sturen. Aangezien er weinig bekend is van het effect op eiwitkwaliteit, wordt er daarom een voorstel verwoord voor vervolgonderzoek.



---

# 1 Actuele samenvatting van de invloed van teelt op bakkwaliteit

## 1.1 Wat is bakkwaliteit?

Bakkwaliteit is een term die afhankelijk is van de eisen van de consument, welke weer afhangen van sociale, demografische en omgevingsfactoren (Rosell, 2011). In dit rapport wordt hoofdzakelijk ingegaan op de bakkwaliteit die van toepassing is op de Nederlandse situatie/consument.

Er zijn verschillende parameters die een indicatie geven van bakkwaliteit. Wat betreft het meel wordt er vaak gekeken naar parameters als de Zeleny-sedimentatiewaarde, valgetal en gluten content/gluten index. Onderzoeken naar bakkwaliteit bepalen vaak de reologische eigenschappen van het deeg zoals de elasticiteit, extensibiliteit, viscositeit, sterkte en stabiliseringstijd. Ook kan er gekeken worden naar aspecten zoals het vochtgehalte, kleur van de korst, kruimigheid, knapperigheid van de korst etc. (Rosell, 2011). In het algemeen kan echter gesteld worden dat voor Nederland het broodvolume de belangrijkste indicator is van bakkwaliteit.

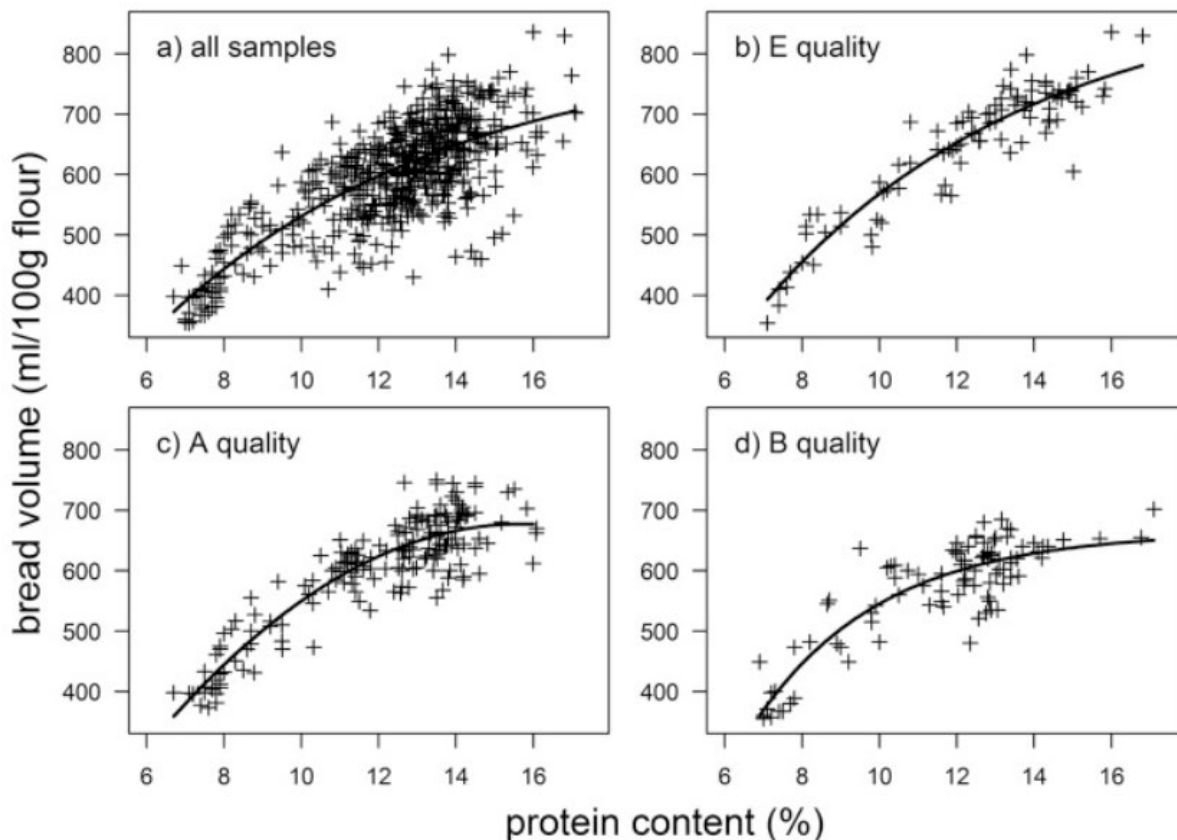
Hieronder en in hoofdstuk 2 wordt dan ook besproken welke eigenschappen van invloed zijn en welke teeltmaatregelen gebruikt kunnen worden om het broodvolume te verhogen.

## 1.2 Effect eigenschappen meel op bakkwaliteit

Verscheidene eigenschappen van het tarwemeel hebben invloed op het broodvolume. De parameters die het meest van invloed zijn, zijn het eiwitgehalte en de eiwitsamenstelling. Het effect van deze twee eigenschappen wordt hieronder uiteengezet.

### 1.2.1 Eiwitgehalte

Het eiwitgehalte van tarwekorrels is momenteel een van de primaire parameters waarmee bepaald wordt of een tarwe bakwaardig is. Een hoger eiwitgehalte leidt in het algemeen tot een hoger broodvolume, maar hier is echter wel wat nuance in aan te brengen. Een voorbeeld hiervan is een onderzoek uit Duitsland waarbij aan 591 wintertarwe monsters van rassen uit drie kwaliteitsklassen (E, A en B) het eiwitgehalte en het broodvolume bepaald is (Gabriel et al., 2017). Vervolgens is de relatie tussen deze twee parameters vastgesteld en geïllustreerd (Figuur 1). In deze figuren is een kromlijinig verband te zien tussen eiwitgehalte en broodvolume, wat wil zeggen dat het broodvolume minder toeneemt ten opzichte van het eiwitgehalte naarmate het eiwitgehalte hoger is. Concreet betekende dit dat een eiwitgehalte tussen de 10% en 12% leidde tot een toename in broodvolume van 10-15%, terwijl bij een eiwitgehalte tussen de 12% en 14% het broodvolume maar met 5-10% toenam. Boven de 12% eiwit was er nog maar een zwakke relatie tussen eiwitgehalte en broodvolume ( $R^2=0.15$ ). Wat echter opvalt is dat de lijn bij de rassen uit de E (elite) klasse een meer lineaire lijn volgt. Dit zou betekenen dat bij deze rassen ook boven de 12% eiwit er een toename is van het broodvolume. Echter ook bij deze rassen is de relatie tussen eiwitgehalte boven de 12% en broodvolume beperkt ( $R^2=0.32$ ). In Nederland is het eiwitgehalte in het algemeen vrij laag (10-12%) en komen eiwitgehaltes van boven de 12% weinig voor, terwijl dit in Duitsland veel minder uitzonderlijk is (De Leyn, 2012). Het is in Nederland dus belangrijk om teeltmaatregelen te richten op het behalen van ten minste een eiwitgehalte van 12%; meer dan 12% eiwit draagt relatief minder bij aan het broodvolume.



**Figuur 1** De relatie tussen broodvolume en eiwitgehalte voor 591 monsters (a) en daarnaast (b,c,d) apart per kwaliteit klasse: E (n=96), A (n=185) en B (n=97) (Gabriel et al., 2017).

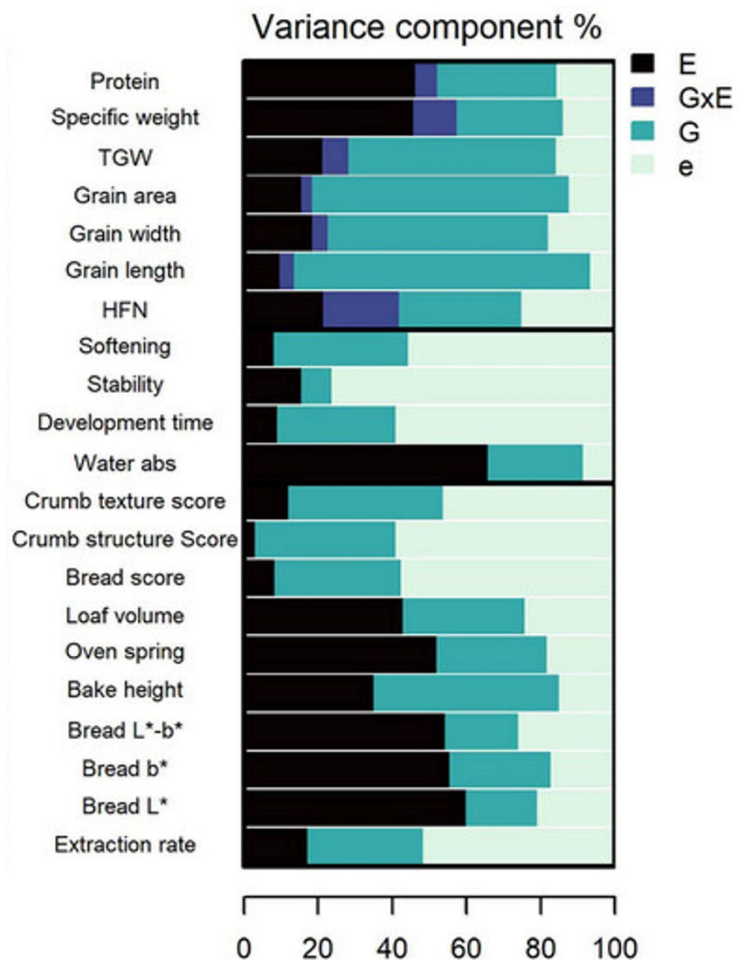
### 1.2.2 Eiwitsamenstelling

Zoals eerder vermeld is een eiwitgehalte van 12% in Nederland al aan de hoge kant en zal een eiwitgehalte boven de 12% waarschijnlijk maar beperkt bijdragen aan de bakkwaliteit. Daarnaast is het met de toenemende druk op stikstofbemesting niet waarschijnlijk dat hogere eiwitgehalten door hogere stikstofgiften in de toekomst mogelijk zijn. Echter, veel tarwe in Nederland is niet bakwaardig en de wens bestaat om de bakwaardigheid te bevorderen. Van belang hierbij is dat niet alleen een hoger eiwitgehalte de bakkwaliteit kan bevorderen maar dat ook de samenstelling van het aanwezige eiwit hier waarschijnlijk invloed op uitoefent.

Onderzoek uit Duitsland heeft onderzocht wat het effect is van eiwitgehalte en eiwitsamenstelling op het broodvolume wanneer het eiwitgehalte tussen de 8,0 en 11,5% ligt (Thanhaeuser et al., 2014). Bij dit onderzoek zijn aan monsters van 13 verschillende wintertarwerassen eiwit- en bak-analyses gedaan. De conclusie was dat, net als bij het eerder aangehaalde onderzoek, het eiwitgehalte in dit traject goed correleert met het broodvolume ( $r=0.71$ ). Maar ook kwam naar voren dat bepaalde fracties van het eiwit, zoals de glutentypes gliadinen ( $r=0.80$ ) en gluteninen ( $r=0.76$ ), beter correleerden met het broodvolume. Daarnaast was er een bepaald onderdeel van de gluteninen, het glutenine macropolymeer, dat sterk correleerde met het broodvolume ( $r=0.80$ ). Gliadines en glutenines vormen samen een netwerk dat bijdraagt aan bakkwaliteit (Wieser et al., 2006). Voorgaande onderzoeken geven aan dat enkel naar eiwitgehalte kijken beperktere informatie over bakkwaliteit geeft in vergelijking met het kijken naar de gehele eiwitsamenstelling. Een beperking van een voorgaande studie (Thanhaeuser et al., 2014) is dat er alsnog naar relatief grove eiwitfracties was gekeken. Het kan van belang zijn om nog dieper in te zoomen op welke eiwit-subtypen de bakkwaliteit het beste verklaren.

## 1.3 De invloed van teeltmaatregelen op bakkwaliteit

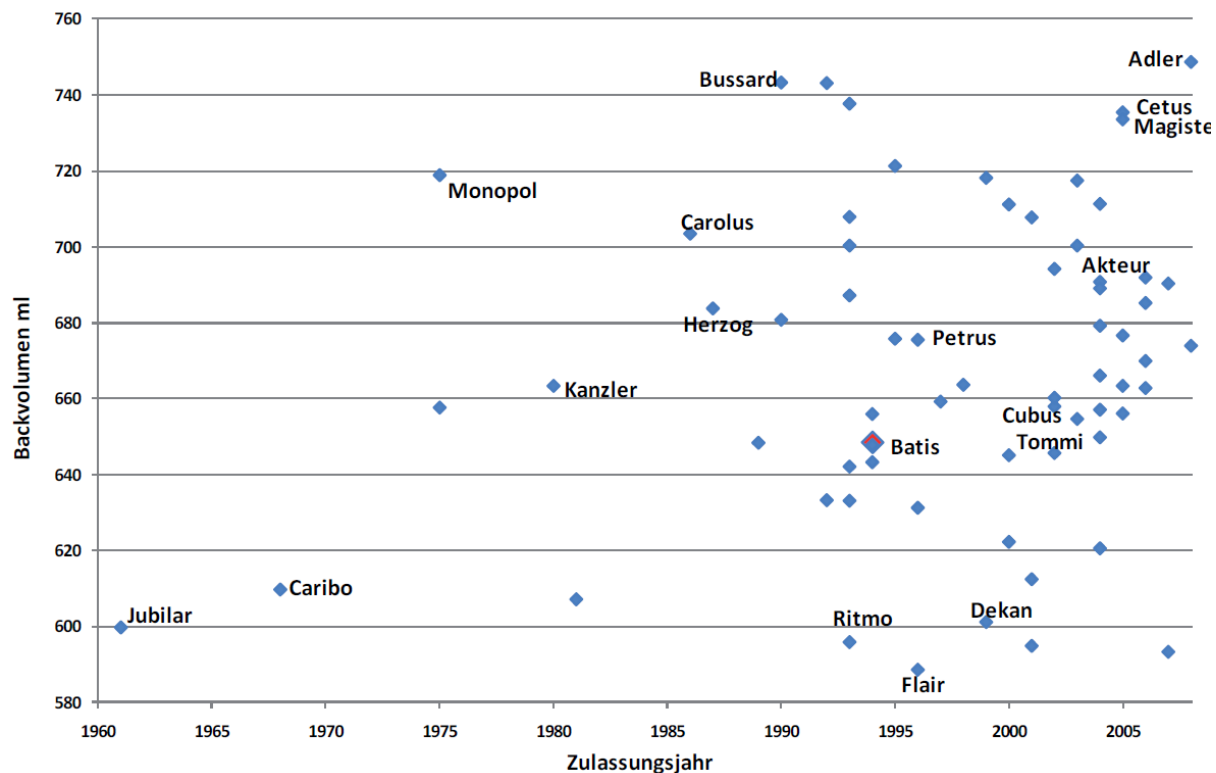
De groei van een gewas is onderhevig aan allerlei factoren, zoals de hoogte van de bemesting, wel of geen beregening, wel of geen gewasbeschermingsmiddelen en de bodem- en weersomstandigheden. De kwaliteit van een tarwegewas wordt beïnvloed door simpel gezegd, drie hoofdcomponenten, namelijk de omgeving (denk aan grondsoort, het weer), de maatregelen van de teler (management) en het ras (genotype). Uit verscheidene onderzoeken komt naar voren dat het broodvolume (Loaf volume) voor ongeveer 30% wordt bepaald door het ras (de "G" in Figuur 2); de overige 40-60% wordt bepaald door het management en de omgeving samen (de "E" in Figuur 2). Ook toont onderzoek aan dat het eiwitgehalte voor maar 20-30% bepaald wordt door het ras (Fradgley et al., 2023; Laidig et al., 2017, 2022). Het is daarom belangrijk te bepalen waar er gesleuteld moet worden (ras of teeltmaatregelen) om de bakkwaliteit te verbeteren. De componenten "management" en "omgeving" zijn niet bij elk onderzoek apart bepaald. Toch zou een dergelijke opsplitsing veel nuttige informatie geven. In de volgende paragrafen wordt er ingegaan op de componenten ras en management. Er wordt uiteengezet hoe rassenkeuze de bakkwaliteit beïnvloedt en hoe verscheidene teeltmaatregelen kunnen leiden tot verbetering van de bakkwaliteit.



**Figuur 2** Invloed van de componenten 'omgeving' (hier "E"), 'ras' (hier "G") en 'de interactie tussen ras en omgeving' (hier "GxE") en de standaard error (hier "e") op verscheidene parameters van tarwe- en bakkwaliteit. "Loaf volume" is broodvolume. Figuur afkomstig uit Fradgley et al. (2023).

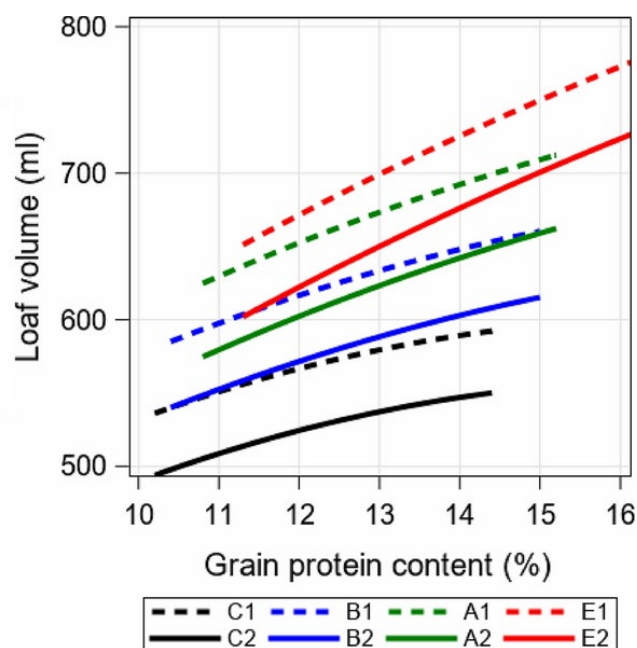
### 1.3.1 Rassenkeuze

Rassen kunnen sterk verschillen in hun bakkwaliteit. Kwekers hebben de afgelopen decennia tarwerassen veredeld met een beduidend hogere opbrengst. Aan de andere kant is het minder bekend welke effecten de veredelingsactiviteiten hebben gehad op eiwitpercentages of broodvolumes van rassen. Duits onderzoek toont aan dat er meer bakwaardige rassen bestaan dan vroeger (Lorenz Hartl et al., 2011). In dit onderzoek zijn zaadpartijen van (94) rassen die zijn toegelaten op de Duitse markt tussen 1961 en 2008 verzameld. Hierbij is er steeds voor gekozen om commercieel relevante rassen uit bepaalde jaren mee te nemen. Deze rassen zijn vervolgens gedurende twee jaren uitgezaaid op zeven verschillende locaties waarna de (eiwit)opbrengst, sedimentatiewaarde en broodvolume van alle rassen is bepaald. Hieruit kwam naar voren dat het gebruik van de oudere rassen (toegelaten in de jaren 60) leidde tot broden met ongeveer 20% lager broodvolume in vergelijking met de laatst toegelaten best presterende rassen (Figuur 3). Ook werden de sedimentatiewaarde en de (eiwit)opbrengst sterk verbeterd met nieuwere rassen. Echter, ander onderzoek toont aan dat het onduidelijk is of er significante vooruitgang is gemaakt wat betreft het veredelen op bakkwaliteit (Laidig et al., 2017). In het onderzoek van Laidig et al. (2017) werd een verbetering gevonden in opbrengst, maar een vermindering in eiwitgehalte en broodvolume in vergelijking met rassen uit 1983.



**Figuur 3.** Gemiddeld broodvolume (Backvolumen ml) van de geanalyseerde rassen ten opzichte van het jaar dat ze op de markt kwamen (Zulassungsjahr) (Lorenz Hartl et al., 2011).

Naast het uitvoeren van veldstudies is het ook mogelijk om terug te rekenen hoe goed oude rassen presteren ten opzichte van nieuwe rassen. Een dergelijke aanpak is gebruikt in Duits onderzoek van Laidig et al. (2022). Zij hebben de resultaten van het Duitse CGO-onderzoek tussen 1988 en 2019 aan 355 rassen gebundeld en vervolgens de bakkwaliteit vergeleken. Hieruit kwam als eerste naar voren dat sommige rassen een hogere eiwit efficiëntie hebben, dat wil zeggen dat ze met een lager eiwitgehalte toch een hoger broodvolume geven, zoals in het rood geïllustreerd in Figuur 4 (vergelijk de 4 kleuren op hetzelfde eiwitgehalte). Daarentegen halen sommige rassen uit de laagste kwaliteitsklasse (in het zwart) met een hoog eiwitgehalte een laag broodvolume en hebben deze dus een lage eiwit efficiëntie. Wat het onderzoek van Laidig et al. (2022) echter wel laat zien is dat juist deze eiwit efficiëntie tussen 1988 en 2019 is afgenomen, terwijl de korrelopbrengst is gestegen. De vermindering in eiwit efficiëntie is geïllustreerd in Figuur 4, waarbij onderbroken lijnen de broodvolumes per eiwitgehalte van variëteiten in 1990 weergeven terwijl de continue lijnen de gemiddelde broodvolumes per eiwitgehalte van variëteiten in 2015 weergeven. Hoewel recentere rassen in Duitsland dus minder eiwit efficiënt zijn en een minder broodvolume halen betekent dit mogelijk wel dat er potentie is om met veredeling weer eiwit efficiëntere rassen te veredelen die tot een hoog brood volume leiden, waarbij de uitdaging is dat deze rassen wel een competitieve opbrengst moeten leveren.



**Figuur 4** Broodvolume (ml) voorspelt op basis van eiwitgehalte data uit 1990 (onderbroken lijnen), en data uit 2015 (solide lijnen). C, B, A en E zijn de kwaliteitsklassen van Duitse tarwe, waarbij C de minste kwaliteit is en E de beste (Laidig et al., 2022).

---

Dergelijke rassen die een lager eiwitgehalte hebben maar alsnog een goede bakkwaliteit leveren passen beter in een landbouwsysteem waar stikstof inputs beperkt zullen zijn.

### 1.3.2 Tarwetype

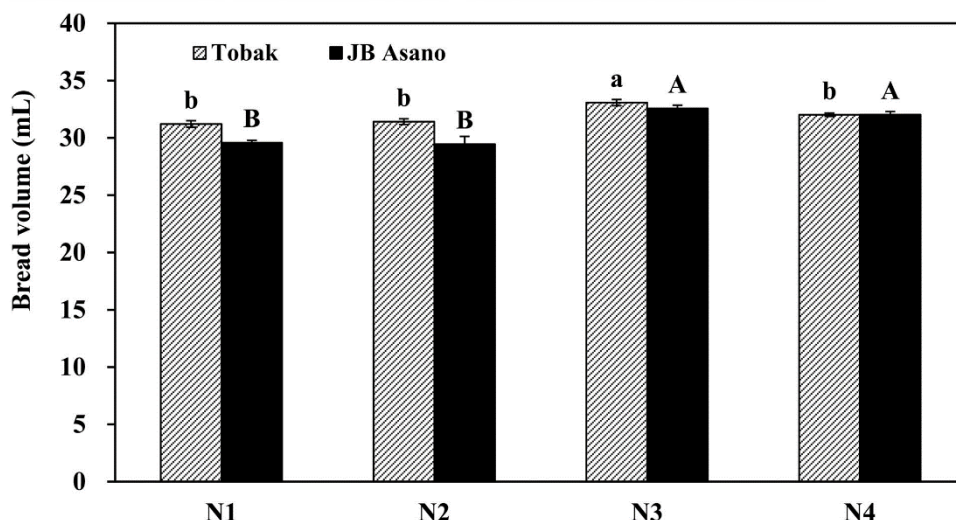
Er is mogelijk verschil in bakkwaliteit tussen zomertarwe en wintertarwe. Over het algemeen heeft wintertarwe een hogere opbrengst dan zomertarwe door een langere groeiperiode en een snellere start van de groei in het voorjaar. Met een hogere opbrengst gaat echter wel een lager eiwitgehalte gepaard. Met deze gedachte zou zomertarwe, welke over het algemeen een lager opbrengstniveau heeft, een hoger eiwitgehalte hebben. In onderzoek van Koppel & Ingver (2008) uit Estland bleek dit ook, waar zij zomertarwe met wintertarwe vergeleken en welke beide bemest werden met 90 kg N/ha. Het gemiddelde eiwitgehalte van veertien zomertarwerassen was hoger dan dat van vijftien wintertarwerassen (Koppel R. & Ingver A., 2008). Tevens waren er verschillen te zien in sommige andere parameters (zoals 'wet gluten content' en 'deeg stabiliteit tijd'), maar het broodvolume was niet verschillend tussen de zomertarwe en wintertarwe. Aan de andere kant laat onderzoek uit Duitsland uit 2002 andere resultaten zien. De zomertarwe in dit onderzoek had niet altijd een lagere opbrengst dan wintertarwe, maar vaak wel een hoger eiwit percentage én een betere bakkwaliteit (Pommer, 2002). Over het algemeen heeft zomertarwe in Nederland een hoger eiwitgehalte dan wintertarwe, maar over bakkwaliteit is niet veel bekend, mede omdat de bakkwaliteit van zomertarwe niet stelselmatig in kaart wordt gebracht in CGO-onderzoek.

### 1.3.3 Stikstofbemesting

Om goed te groeien en voldoende eiwit te synthetiseren heeft tarwe behoefte aan verscheidene nutriënten. Het belangrijkste nutriënt voor de synthese van tarwe-eiwit is stikstof en het is daarom belangrijk ervoor te zorgen dat er voldoende beschikbare stikstof in de bodem aanwezig is wanneer de tarwe dit nodig heeft. Daarnaast is het mogelijk de korreleigenschappen van tarwe te beïnvloeden door de stikstofbemesting in meerdere giften te geven. Zo is uit een wereldwijde studie bekend dat het opsplitsen van de stikstofgift in 2 of 3 giften in plaats van alles in één keer te geven het eiwitgehalte consistent verhoogt (Wu et al., 2022). Daarentegen is er in Europa beperkte kennis over het effect van gesplitste stikstofgiften op bakkwaliteit. Duits onderzoek in potten (Xue et al., 2016) toonde wel aan dat het opsplitsen van giften de bakkwaliteit kan bevorderen. In dit onderzoek zijn vier verschillende behandelingen toegepast; een van deze behandelingen had een lage N gift, terwijl drie behandelingen een verhoogde N gift hadden. Één van de hogere giften werd in twee keer gegeven terwijl twee van de hogere giften in drie keer gegeven werden, ten slotte bestond een van de hogere derde giften uit een ureum-gift terwijl de ander bestond uit een KAS-gift (Figuur 5). Zoals te zien in Figuur 5 leidde een hogere N-gift in twee giften in vergelijking met een lagere N-gift in twee giften (N2 in vergelijking met N1) niet direct tot een hoger broodvolume. Terwijl drie giften in vergelijking met de twee N-giften (N3 en N4 in vergelijking met N1 en N2) wel tot een hoger broodvolume leidde. Daarnaast valt op dat cultivar JB Asano het in de N1 en N2 behandelingen (twee giften) relatief slecht doet en het in de N3 en N4 behandelingen (drie giften) net zo goed doet als de andere cultivar Tobak. Mogelijk impliceert dit dat baktarwe van mindere kwaliteit door de bemesting in drie giften te geven alsnog "gepromoveerd" kunnen worden tot bakwaardige tarwe. Wat hierbij een duidelijke beperking is dat dit onderzoek in potten is uitgevoerd en maar op twee rassen. Niet duidelijk is hoe de effecten die zij vonden zich vertalen naar veldsituaties. Het is daarom aanbevelingswaardig om gesplitste giften toe te passen in veldproeven met meerdere rassen. Er is verder weinig literatuur te vinden over de invloed van ureum op bakkwaliteit.

		EC 0	EC 30	EC 45		EC 51		
Treatments <sup>a</sup>		N rate	N rate	N rate	N type	N rate	N type	Total N rate
Experiment 1	N1 (1 + 0.5 + 0)	1	0.5	0	–	0	–	1.5
	N2 (1 + 1 + 0)	1	1	0	–	0	–	2
	N3 (1 + 0.5 + 0.5N)	1	0.5	0.5	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0	–	2
	N4 (1 + 0.5 + 0.5U)	1	0.5	0.5	Urea + DCD	0	–	2
Experiment 2	N5 (1 + 1 + 0)	1	1	0	–	0	–	2
	N6 (1 + 1.5 + 0)	1	1.5	0	–	0	–	2.5
	N7 (1 + 1 + 0.5N)	1	1	0	–	0.5	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	2.5
	N8 (1 + 1 + 0.5U)	1	1	0	–	0.5	Urea + DCD	2.5

<sup>a</sup>In the first experiment, N1 (1 + 0.5 + 0) represents treatment N1, with N fertilization rate and timing at 1 g N pot<sup>-1</sup> before sowing, 0.5 g N pot<sup>-1</sup> at EC30 (stem elongation), and 0 g N pot<sup>-1</sup> at EC45 (late boot stage). The N fertilization rate and timing in treatment N2, N3, and N4 were done in the same way as N1. In the second experiment, N5 (1 + 1 + 0) represents treatment N5, with N fertilization rate and timing at 1 g N pot<sup>-1</sup> before sowing, 1 g N pot<sup>-1</sup> at EC30, and 0 g N pot<sup>-1</sup> at EC51 (beginning of heading). The N fertilization rate and timing in treatment N6, N7, and N8 were done in the same way as N5. The expression '0.5N' means that 0.5 g N pot<sup>-1</sup> was given as calcium nitrate, '0.5U' means that 0.5 g N pot<sup>-1</sup> was given as urea plus nitrification inhibitor DCD.



**Figuur 4** Broodvolume van twee cultivars (Tobak en JB Asano) onder vier behandelingen van bemesting. In de tabel boven de staafgrafiek staan de behandelingen. Onderzoek van Xue et al. (2016). Kleine letters tonen significante verschillen aan voor Tobak, hoofdletters tonen significante verschillen aan voor JB Asano.

#### 1.3.4 Zwavel

Er is niet veel onderzoek bekend over het effect van zwavel op broodvolume. Er wordt vanuit gegaan dat er voldoende zwavel beschikbaar is in de grond. Er zijn enkele onderzoeken te vinden die gaan over het effect van zwavel op broodvolume. Een oud artikel uit het Verenigd Koninkrijk benadrukt ook dat zwavel belangrijk is voor de tarwekwaliteit. De concentratie van zwavel in het graan zou een betere graadmeter zijn voor broodkwaliteit (broodvolume) dan de concentratie van stikstof in het graan (Zhao et al., 1999). Daarbij aansluitend is onderzoek uit Estland, welke aan toont dat een toevoeging van zwavel o.a. het broodvolume verbetert van winter tarwe (Järvan et al., 2008). Onderzoek uit het Verenigd Koninkrijk uit 2022, toonde aan dat zwavelbemesting geen effect had op bak kwaliteit (broodvolume, kruimel kleur, kruimel structuur en textuur).

#### 1.3.5 Gewasbescherming en groeiregulatoren (biotische factoren)

Groeiregulatoren zoals CCC en Moddus hebben een indirect positief effect op de bakkwaliteit. De groeiregulatoren remmen de stengelstrekking en zorgen voor stevigere stengels. Dit vermindert het risico op legering, wat weer kan resulteren in een betere kwaliteit dan tarwe van planten die gelegerd zijn. Uit het Duitse onderzoek van Wang et al. (2004) kwam naar voren dat het gebruik van groeiregulatoren en fungiciden geen directe invloed hadden op de bakkwaliteit van twee rassen winter tarwe (veldproef). Zij gebruikten tijdens het groeiseizoen de groeiregulatoren CCC en Moddus, en een combinatie van verscheidene fungiciden. Ze keken naar bakkwaliteit (Figuur 6C) maar zagen over het algemeen geen verschillen tussen



onbehandelde objecten en verschillende behandelingen van groeiregulatoren in combinatie met fungiciden (Figuur 6) (Wang et al., 2004).

A

fungicide	active ingredient	class
A	azoxystrobin	strobilurine
B	kresoxim-methyl, epoxiconazol, fenpropimorph	strobilurine, azole, morpholine
C	picoxystrobin	strobilurine
D	propiconazol, tebuconazol, fenpropidin	azole propidine
E	cyprodinil	anilinopyrimidine

B

treatment	date of application			
	April 12/13	April 30	May 1	
	growth regulator		fungicide	
	BBCH 29/30 <sup>b</sup>	BBCH 31 <sup>b</sup>	BBCH 32 <sup>b</sup>	BBCH 51/55 <sup>b</sup>
untreated	no treatment			
4	CCC 1.0	Moddus 0.4	E 0.7 + B 0.5	A 0.6 + D 0.6
5	CCC 1.0	Moddus 0.4	E 0.7 + C 0.6	A 0.6 + D 0.6

C

treatment	cultivar					
	Bussard			Flair		
	untreated	4	5	untreated	4	5
falling number (s)	545 <sup>a</sup>	570 <sup>b</sup>	520 <sup>c</sup>	510 <sup>a</sup>	415 <sup>b</sup>	400 <sup>c</sup>
water absorption (mL 100 g <sup>-1</sup> flour <sup>a</sup> )	56.7	58.8	59	53.5	53.7	53.9
flour yield (g)	157.4	158.8	158.8	154.4	154.6	154.3
dough surface	normal	normal	normal	normal	normal	normal
dough elasticity	normal	normal	normal	strong	strong	strong
small bread weight (g)	128.6	128.1	128.5	126.6	126.2	127.1
loaf volume (cm <sup>3</sup> 100 g <sup>-1</sup> flour <sup>a</sup> )	637	660	656	522	494	488
crispness	satisfactory	good	good	unsatisfactory	unsatisfactory	unsatisfactory
browning	normal	normal	normal	normal	normal	normal
crumb structure	uneven	uneven	uneven	uneven	even	even
crumb elasticity	good	good	good	good	good	good

<sup>a</sup> On the basis of 14% moisture according to Schrader (27). Within rows for the same cultivar, values followed by the same letter are not significantly different (*p* < 0.05).

**Figuur 5** A) Lijst met alle fungiciden die gebruikt zijn in het experiment van Wang et al. (2004). B) De verschillende soorten behandelingen. Hier zijn alleen behandelingen 4 en 5 getoond. C) Resultaten van de bakexperimenten met bloem van de rassen Bussard en Flair onder verschillende omstandigheden gegroeid. Tabellen afkomstig van Wang et al. (2004).



---

## 2 Integratie

### 2.1 Wat is bakkwaliteit?

Zoals beschreven in hoofdstuk 1 wordt hier voornamelijk gefocust op broodvolume als parameter van bakkwaliteit. Dit komt doordat het broodvolume van Nederlandse broden hoog moet zijn om als acceptabel te worden beschouwd voor de consument.

### 2.2 Effect eigenschappen meel op bakkwaliteit

De bakkwaliteit van tarwemeel wordt beïnvloed door verschillende meeleigenschappen. De voornaamste eigenschappen die bakkwaliteit beïnvloeden zijn eiwitgehalte en eiwitsamenstelling. Hierbij geldt dat een hoger eiwitgehalte over het algemeen zorgt voor een hoger broodvolume (Laidig et al., 2022). Het is echter niet voldoende om enkel naar het eiwitgehalte te kijken als verklarende factor voor bakkwaliteit. Naast de hoeveelheid eiwit in het meel is het namelijk ook van belang hoe dit eiwit is opgebouwd. Het is zelfs zo dat de eiwitsamenstelling de bakkwaliteit van een meel vaak beter verklaard dan puur het eiwitgehalte (Thanhaeuser et al., 2014; Xue et al., 2016). Een van de belangrijkste eiwitten die bakkwaliteit beïnvloeden zijn gluten (Wieser, 2007). Gluteneiwit is onderverdeeld in twee typen eiwit: glutenine en gliadine (Wieser et al., 2006). Gluteninen beïnvloeden de deegsterkte en -elasticiteit terwijl gliadinen de deegviscositeit en -extensibiliteit beïnvloeden. Voor een optimale bakkwaliteit is het van belang dat deze gliadinen en gluteninen in een goede balans zijn (Wieser et al., 2006).

### 2.3 Hoe beïnvloed je met teeltmaatregelen het eiwitgehalte, eiwitsamenstelling en bakkwaliteit?

Zoals genoemd zijn het eiwitgehalte en de eiwitsamenstelling van tarwemeel belangrijk voor een goede bakkwaliteit. Het is daarom van belang om te bepalen welke maatregelen een teler kan nemen om te zorgen voor een zo een hoog mogelijke bakkwaliteit, te meer omdat de teler hierdoor een hogere prijs voor zijn tarwe kan krijgen.

Het is van belang te beseffen dat rassenkeuze en teeltmaatregelen maar tot een bepaalde hoogte kunnen bijdragen aan het verbeteren van broodvolume of een andere eigenschap. Uit verscheidene studies is naar voren gekomen dat er een verschil zit tussen de invloed van rassenkeuze en teeltmaatregelen op bijvoorbeeld eiwitgehalte of broodvolume (Fradgley et al., 2023; Laidig et al., 2017, 2022). Zo wordt variatie in het eiwitgehalte voor 21 tot 35% verklaard door het ras terwijl de rest van de variatie wordt verklaard door management en omgeving (bemesting, gewasbescherming, weer etc.). Het broodvolume wordt voor 35 tot 61% verklaard door het ras en de rest van de variatie door management en omgeving. Het opsplitsen van de effecten van management en omgeving is in deze onderzoeken niet gedaan. Het is daarom niet precies te bepalen hoe groot het effect van teeltmaatregelen is, maar duidelijk is wel dat rassenkeuze veel verklaart.

In dit hoofdstuk wordt eerst kort toegelicht welke maatregelen van invloed kunnen zijn op het eiwitgehalte, de eiwitsamenstelling en de bakkwaliteit van tarwe. Vervolgens zal per punt een uitgebreidere toelichting volgen:

- 1) Rassenkeuze en tarwetype: Het ras is van grote invloed op eiwitgehalte, eiwitsamenstelling en bakkwaliteit. Daarnaast kan het tarwetype (zomertarwe of wintertarwe) mogelijk van invloed zijn.
- 2) Bemesting: Een optimale stikstofbemesting leidt tot een hoger eiwitgehalte, een betere eiwitsamenstelling en bakkwaliteit. Van belang is hoe, wanneer en in welke vorm deze stikstof wordt gegeven. Er is mogelijk ook een invloed van andere nutriënten zoals zwavel, fosfor, zink, ijzer, koper en mangaan op de bakkwaliteit, bij sommige nutriënten is dit effect nog minder bekend.

---

### 2.3.1 Rassenkeuze en tarwetype

Tarwerassen vertonen genetische verschillen in eiwitgehalte, eiwitsamenstelling en bakkwaliteit. Sommige rassen hebben van nature een hoger eiwitgehalte dan andere rassen, al gaat een dergelijk hoger eiwitgehalte vaak gepaard met een lagere opbrengst (Geyer et al., 2022). Dit van nature hogere eiwitgehalte kan positieve effecten hebben op de bakkwaliteit. Wat echter nog interessanter is, is dat sommige tarwerassen bij een ~20% lager eiwitgehalte alsnog zo een ~10% hoger bakvolume kunnen bereiken in vergelijking met andere rassen (Laidig et al., 2022; Xue et al., 2019). Dit verschijnsel wordt zeer waarschijnlijk verklaard door een andere eiwitsamenstelling, waardoor er met minder eiwit toch een hogere bakkwaliteit wordt behaald, een zogenoemd hogere eiwitefficiëntie. Al met al toont dit aan dat er tarwerassen zijn met een inherent betere bakkwaliteit ten opzichte van andere rassen, iets wat ook naar voren komt uit het meerjarig wintertarwe CGO-onderzoek uitgevoerd door de WUR Open Teelten. Onderzoek uit de Verenigde Staten laat zien dat er wat betreft bakkwaliteit verschil zit tussen zomertarwe en wintertarwe (Maghirang et al., 2006). Zomertarwe had een significant hoger broodvolume en eiwitgehalte dan wintertarwe (ongeveer 100 samples voor beide tarwetypes). Uit hoofdstuk 1 werd duidelijk dat er in nabijgelegen landen niet veel informatie te vinden is of zomertarwe een betere bakkwaliteit heeft dan wintertarwe. Het is onduidelijk of in de Nederlandse situatie zomertarwe ook een betere bakkwaliteit levert.

### 2.3.2 Bemesting

De belangrijkste bemestingsmaatregel om bakkwaliteit te bevorderen is een optimale stikstofgift. Hierbij geldt dat een hogere stikstofgift over het algemeen leidt tot een hoger eiwitgehalte met positieve gevolgen voor bakkwaliteit. Zowel de N-gebruiksnorm als de huidige maatschappelijke context leggen (naast het financiële aspect) beperkingen op aan de hoeveelheid stikstof die kan worden toegediend aan tarwe. Daarom is het interessant om na te gaan of het mogelijk is met dezelfde- of mogelijk zelfs lagere hoeveelheid stikstof toch een goede bakkwaliteit te behalen. Naast de totale hoeveelheid stikstof hebben ook de bemestingsstrategie (verdeling over het seizoen) en de vorm van stikstof (kunstmest, dierlijke mest etc.) invloed op de bakkwaliteit. Hieronder wordt uiteengezet wat de mogelijke effecten op bakkwaliteit zijn van 1) gesplitste stikstofgiften, 2) verschillende vormen van stikstof, 3) organische mest t.o.v. kunstmest, 4) bladbemesting en 5) N-fixerende bacteriën.

#### **Gesplitste stikstofgiften**

Het is mogelijk om het eiwitgehalte te verhogen door de totale hoeveelheid kunstmeststikstof niet in één keer te geven maar gesplitst toe te dienen. Voor het verkrijgen van de hoogste opbrengst wordt in de praktijk de stikstof verdeeld over twee tot drie giften; over het algemeen als eerste een basisgift en een tweede gift tijdens de strekkingsfase (Teelthandleiding Wintertarwe 1987 & Zomertarwe 2009). Uit Duits onderzoek blijkt dat drie in plaats van twee stikstofgiften bijdragen aan een verhoogd broodvolume, maar dat een vierde stikstofgift niet veel toevoegt aan het verbeteren van broodkwaliteit (Xue, Schulte auf'm Erley, Rücker, et al., 2016). Deze derde stikstofgift vond in het onderzoek plaats vroeg in het vlagblad stadium (BBCH41). Omdat de laatste jaren een hoger eiwitgehalte nauwelijks tot een hogere prijs leidde, is de belangstelling voor het geven van een (3<sup>e</sup>) N-gift rond het vlagbladstadium sterk afgenomen. Toch kan met een dergelijke 3<sup>e</sup> gift gestuurd worden op een hogere bakkwaliteit. Het is zelfs zo dat een gesplitste stikstofgift met een lagere totale hoeveelheid stikstof kan leiden tot een gelijk of zelfs hoger eiwitgehalte en bakkwaliteit dan één enkele stikstofgift met een hogere totale hoeveelheid stikstof (Fuertes-Mendizábal et al., 2010; Xue et al., 2016). Deze verhoogde stikstofefficiëntie door gesplitste stikstofbemesting heeft de potentie om het totale stikstofgebruik voor een baktarweteelt te verminderen, iets wat van groot belang is voor telers omdat zij te maken hebben met hoge kunstmestprijzen en regelgeving die toegestane stikstofhoeveelheden steeds verder beperkt. Door kunstmeststikstof gesplitst te geven kunnen zij mogelijk met minder stikstof toch nog bakkwaliteit en de daarmee samengaannde bakpremies behalen, waarbij het tot op heden wel van belang is dat het niet ten koste gaat van de korrelopbrengst.

#### **Stikstofvormen**

Naast het moment van stikstof geven is ook de vorm van stikstof die wordt gegeven van belang. Nitraat is de voornaamste stikstofvorm van bemesting en is gelijk beschikbaar voor de plant. Andere stikstofvormen zijn o.a. ammonium en ureum, maar deze vergen grotendeels eerst een omzetting in de bodem voordat ze beschikbaar zijn voor de plant.

---

Alhoewel het bewijs wisselend is, is er een hypothese dat ammonium sneller gesynthetiseerd wordt naar korreleiwit omdat het na opname niet tussentijds opgeslagen kan worden in plantencellen (Xue et al., 2016). Daarnaast is ammonium al een soort 'half-fabricaat' in het aminozuur-synthese proces, terwijl nitraat een 'ruwe grondstof' is die eerst door de plant gereduceerd moet worden tot ammonium alvorens er aminozuren mee kunnen worden gemaakt (Shilpha et al., 2023). In een potexperiment met enkel ammonium als stikstofbron vergeleken met enkel nitraat bleek dan ook dat het eiwitgehalte van tarwe toenam bij enkel ammonium bemesting en de opbrengst hetzelfde bleef (Fuertes-Mendizábal et al., 2013). Potexperimenten zijn niet representatief voor veldomstandigheden, maar kunnen indicatief zijn. In een veldproef met nitrificatie-remmers, die de ammonium beschikbaarheid voor de plant verhogen en de nitraat beschikbaarheid verlagen, bleek er geen effect te zijn op bakkwaliteit (Huérano et al., 2021). Wat betreft bladbemesting bleek dat een ammoniumtoediening ook niet leidde tot een hoger eiwitgehalte. In een studie uit China werd ammonium wel beter opgenomen dan nitraat en ureum, maar remde andere processen van korrelvulling waardoor uiteindelijk minder korreleiwit werd bereikt (Lyu et al., 2022). Deze aanpak van late ammoniumbemesting via het blad is voor zover bekend nog niet vergeleken met bemesting via de bodem, al moet hierbij rekening gehouden worden met mogelijke fytotoxiciteit en verzuring van de bodem.

### 2.3.3 Mesttypen alternatief

#### **Organisch**

Naast stikstofvormen is het ook belangrijk te overwegen welke typen mest toegepast kunnen worden. Als alternatief voor kunstmest kan er gekozen worden voor organische meststoffen zoals compost of dierlijke mest. Hierbij geldt dat meststoffen met een lage koolstof:stikstof (C:N) verhouding ervoor zorgen dat er meer minerale stikstof vrijkomt voor de tarwe (eurofins Agro, n.d.). Ook leveren organische meststoffen met een hoger aandeel minerale stikstof meer direct beschikbare stikstof aan de tarwe, terwijl de organische fractie pas na mineralisatie vrijkomt. Aangezien mineralisatie elk seizoen anders verloopt en niet te sturen of voorspellen is, is er met organische meststoffen moeilijker te sturen op bakkwaliteit dan met kunstmest. Uit eerdere studies blijkt echter wel dat bij ongeveer gelijke stikstofgiften uit organische mest en kunstmest, vergelijkbare bakkwaliteit is te behalen (Fredriksson et al., 1997). Meestal wordt ervoor gekozen de basisgift met organische mest te geven en in het vlagbladstadium nog kunstmest of bladbemesting toe te dienen.

#### **Bladbemesting**

Bladbemesting wordt ook als optie gezien om stikstof op een efficiëntere manier aan planten toe te dienen. Hoewel bladeren evolutionair gezien niet sterk gespecialiseerd zijn om nutriënten op te nemen, aangezien deze rol is neergelegd voor het wortelstelsel, kunnen bladeren via de huidmondjes toch stoffen absorberen (bv. zuurstof, water, hormonen). Bladbemesting is interessant aangezien het wellicht een oplossing kan zijn wanneer door slechte bodemomstandigheden zoals droogte of niet-optimale pH de wortels niet in staat zijn genoeg stikstof op te nemen. In een veldstudie met wintertarwe uitgevoerd in Rothamsted bleek dat een bladbemesting bij de bloei met 40 kg N/ha ureum leidde tot een verhoogd broodvolume in een situatie met een lage bodembemesting (100 kg N/ha) (Rossmann et al., 2019). In een situatie met ruime bodembemesting (200 kg N/ha) leidde de extra 40 kg N/ha via bladbemesting niet tot een hoger broodvolume. Hoewel deze studie dus aantoonde dat 100 kg N/ha bodembemesting + 40 kg N/ha bladbemesting het broodvolume kan verhogen ten opzichte van enkel 100 kg N/ha bodembemesting, is niet uitgesloten dat dit puur een effect is van de bij-bemesting op zichzelf. Het zou ook kunnen dat 40 kg N/ha in vorm van korrelmeststof in plaats van de bladbemesting hetzelfde of een beter effect zou hebben gehad. Om te bepalen met welk type bemesting een hogere stikstofefficiëntie bereikt kan worden, zijn er experimenten nodig waarbij verschillende mesttypen worden vergeleken bij vergelijkbare hoeveelheden stikstof in totaliteit. Een Chinese studie die op een dergelijke manier is uitgevoerd is die van Lyu et al. (2022), waarbij nitraat, ureum en ammonium via bladbemesting werden toegediend in gelijke hoeveelheden stikstof. Deze studie vergeleek deze bladbemestingen helaas niet op broodvolume, maar wel op andere meel en deeg eigenschappen. Het tweejarig onderzoek wees uit dat de verschillende soorten bladbemestingen invloed hadden op meel eigenschappen zoals wet-gluten, Zeleny-sedimentatiewaarde, en deeg eigenschappen zoals ontwikkelingstijd en deeg stabiliteit tijd. Helaas heeft deze studie niet bodembemesting vergeleken met de bladbemestingen. Het is aanbevelingswaardig om het effect op bakkwaliteit van bladbemestingen niet alleen met elkaar te vergelijken (op broodvolume) maar ook met korrel- en organische meststoffen.

---

### Stikstof fixerende bacteriën

Ten slotte is er een relatief nieuwe ontwikkeling van stikstof toedienen aan het gewas, namelijk via het toedienen van N-fixerende bacteriën. Het is bekend dat N-fixerende bacteriën in de bodem in symbiose kunnen leven met granen en gedurende het seizoen stikstof fixeren. De hoeveelheid stikstof die op deze manier gefixeerd kan worden is, met de bacterie-isolaten bekend in 2018, echter lang niet genoeg om kunstmest te kunnen vervangen (Rosenblueth et al., 2018). Desondanks komen er langzaamaan producten op de Nederlandse markt die claimen stikstoffixatie in een ruim scala aan niet-vlinderbloemige gewassen mogelijk te maken door het toedienen van deze bacteriën op het blad. Hoewel er in de literatuur lab-studies zijn die positieve effecten van stikstoffixerende bacteriën op een breed scala aan gewassen aantonen (Bhattacharjee et al., 2008), is het moeilijk om goed uitgevoerde veldstudies te vinden die de (geclaimde) effecten onderbouwen. Een extra drempel voor deze nieuwe producten is dat het toepassingstijdstip vrij nauw komt, anders kunnen de bacteriën de planten niet succesvol koloniseren. In vergelijking met conventionele manieren van bemesten, die relatief eenvoudig en onder meer omstandigheden toe te passen zijn, beperkt dit voorlopig de toepasbaarheid van N-fixerende bacteriën. In het algemeen lijkt deze nieuwe manier van bemesten nog onvoldoende wetenschappelijke basis te hebben om brede toepassing op korte termijn te rechtvaardigen. Dit geldt niet alleen voor het effect op opbrengst, ook de effecten van stikstoffixerende bacteriën op bakkwaliteit zijn voor zover bekend in zijn geheel niet bestudeerd. De beste aanpak lijkt om nieuwe producten die stikstoffixatie stimuleren eerst in veldstudies toe te passen in vergelijking met conventionele meststoffen.

### Conclusie stikstof bemesting

Wat betreft stikstofbemesting is er een breed scala aan mogelijkheden om bakkwaliteit te beïnvloeden. Een hogere stikstofgift is over het algemeen positief, maar kent wettelijke, financiële en maatschappelijke beperkingen. De hoeveelheid stikstof die een teler geeft kan het best in drie giften verdeeld worden, waarbij vooral de late giften (T3, in vlagbladstadium) met name het eiwitgehalte en de eiwitsamenstelling beïnvloeden en mogelijk dus ook bakkwaliteit bevorderen. Over het effect van welk type stikstof wordt gegeven, zoals ammonium, nitraat of ureum op bakkwaliteit is niet veel bekend. Andere meststoffen zoals organische mest zijn waarschijnlijk vooral nuttig voor bakkwaliteit wanneer ze een hoge minerale fractie bevatten; nadelig is dat organische meststoffen niet goed in meerdere giften zijn te geven en dat mineralisatie van de organische fractie onvoorspelbaar is. Wat betreft bladbemesting is het uit de literatuur onduidelijk of dit tot hogere stikstofefficiëntie leidt in vergelijking met bodembemesting. Over het effect van stikstof fixerende bacteriën bij tarwe in het algemeen is in de literatuur nog onvoldoende te vinden; het effect op de bakkwaliteit is in zijn geheel nog niet bestudeerd.

#### 2.3.4 Zwavel

Hoewel stikstof voor zover bekend het belangrijkste nutriënt is voor eiwitgehalte, eiwitsamenstelling en bakkwaliteit van tarwe, hebben andere nutriënten ook effect. Een belangrijk ander macronutriënt is zwavel. Zwavel is betrokken bij verschillende metabolische processen in planten (Droux, 2004). Een bijzondere rol voor zwavel is weggelegd in het eiwitsynthese proces. Zwavel is namelijk in staat disulfide-verbindingen te vormen die essentieel zijn voor de structuur van eiwitten, iets wat mogelijk van belang is bij de bakkwaliteit van tarwe. Teeltkundig zijn er interessante effecten van zwavelbemesting op bakkwaliteit. Zo kan zwavelbemesting leiden tot een significante toename van broodvolume en andere kwaliteitsparameters (Cai et al., 2022; Järvan et al., 2008; Shahsavani & Gholami, 2008). Het is onwaarschijnlijk dat in bodems met voldoende beschikbaar zwavel er veel voordeel is te behalen met zwavelbemesting. Er wordt in Nederland echter relatief weinig bemest met zwavelhoudende meststoffen terwijl de depositie van industrie etc. sterk is afgenomen. Het is daarom mogelijk dat sommige tarwepercelen een zwaveltekort hebben en profijt kunnen hebben van een zwavelbemesting.

#### 2.3.5 Bodemtoestand en andere nutriënten

Diverse andere nutriënten beïnvloeden mogelijk bakkwaliteit. Bladbemesting met zink beïnvloedt in sommige gevallen de eiwitsamenstelling van tarwe, al is niet bepaald wat het effect hiervan is op bakkwaliteit (Peck et al., 2008). Een andere studie toonde aan dat bladbemesting met zink, koper en mangaan de eiwitsamenstelling beïnvloeden, maar wederom is niet gekeken naar eventuele effecten hiervan op bakkwaliteit (Stepien & Wojtkowiak, 2016). Ook bladbemesting met ijzer, fosfor en kalium verhoogde het

---

eiwitgehalte, met mogelijke implicaties voor bakkwaliteit (Gu et al., 2021; Shahbazi & Nematollahi, 2019). Voorgaande lijst is bij lange na niet uitputtend wat betreft effecten van verschillende nutriënten, maar duidelijk is dat een brede nutriëntenvoorziening belangrijk is voor optimale groei en eiwitvorming van tarwe en mogelijk daarom ook invloed heeft op de bakkwaliteit. In algemene zin is het aan te bevelen om bodemvoorraden aan nutriënten goed te monitoren en waar nodig aan te vullen, maar dit is niet baktarwe specifiek. Gezien het beperkte saldo van (bak)tarwe, lijkt het niet heel kansrijk om specifiek voor bakkwaliteit allerlei (micro)nutriënten bij te bemesten. Er is niet veel literatuur over de invloed van tekorten van micronutriënten op bakkwaliteit. Hierom zou onderzoek naar bakkwaliteit middels gebreksziektevelden een uitkomst kunnen bieden.

---

### 3 Conclusies en aanbevelingen voor (bemestings)onderzoek in relatie tot bakkwaliteit

Concluderend kan gesteld worden dat vooral het eiwitgehalte en de eiwitsamenstelling de bakkwaliteit het meeste beïnvloeden. In deze literatuurstudie is vooral het effect van teeltmaatregelen op het broodvolume bekeken omdat broodvolume veruit de belangrijkste bakkwaliteitsparameter in Nederland is. Het is echter goed om te realiseren dat broodvolume niet allesomvattend is en dat andere brood eigenschappen ook van belang zijn.

De twee teeltkundige factoren die bakkwaliteit het meeste beïnvloeden zijn rassenkeuze en de wijze/hoeveelheid van stikstofbemesting. Hierbij geldt dat sommige rassen inherent betere bakkwaliteit leveren bij eenzelfde stikstofbemesting. Naast de rassenkeuze, binnen zomer- en wintertarwe, is nog onbekend of zomertarwe betere bakkwaliteit kan leveren dan wintertarwe of vice versa. Het is aan te bevelen om experimenten aan te leggen die bepalen of zomertarwe tot hogere bakkwaliteit leidt. Een interessant perspectief hierbij is het telen van zomertarwe als wintertarwe.

Het is naast rassenkeuze mogelijk om met hogere stikstofgiften ook het eiwitgehalte te verhogen wat weer leidt tot een hogere bakkwaliteit. Het gesplitst geven van stikstof is bevorderlijker voor bakkwaliteit in vergelijking met alle stikstof in één keer of twee keer geven, omdat dit het eiwitgehalte maar ook de eiwitsamenstelling beïnvloedt. Het is niet geheel duidelijk hoe alternatieve vormen van stikstof geven (zoals bladbemesting of stikstof fixerende bacteriën) bijdragen aan bakkwaliteit. Voorgaand onderzoek had namelijk niet goed vergelijkbare behandelingen of werd uitgevoerd in potten. Het is daarom van belang alternatieve stikstofbemestingen mee te nemen in veldexperimenten waarbij de vergelijking met praktijk behandelingen goed te maken is. Hierbij kunnen ook zwavelhoudende meststoffen worden meegenomen aangezien zwavel een belangrijke rol speelt in de eiwitsynthese.

---

# Literatuur

- Bhattacharjee, R. B., Singh, A., & Mukhopadhyay, S. N. (2008). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 80(2), 199–209. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2>
- Cai, J., Zang, F., Xin, L., Zhou, Q., Wang, X., Zhong, Y., Huang, M., Dai, T., & Jiang, D. (2022). Effects of Cysteine and Inorganic Sulfur Applications at Different Growth Stages on Grain Protein and End-Use Quality in Wheat. *Foods*, 11(20), 3252. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/20/3252>
- De Leyn, I. (2012, November 2). Kwaliteitscorrectie tarwe. *De Molenaar* Nr.15.
- Droux, M. (2004). Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: a survey. *Photosynthesis Research*, 79(3), 331–348.
- eurofins Agro. (n.d.). *C/N-ratio*. Retrieved January 23, 2024, from <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/c-n-ratio>
- Fradgley, N. S., Bentley, A. R., Gardner, K. A., Swarbreck, S. M., & Kerton, M. (2023). Maintenance of UK bread baking quality: Trends in wheat quality traits over 50 years of breeding and potential for future application of genomic-assisted selection. *Plant Genome*. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20326>
- Fredriksson, H., Salomonsson, L., & Salomonsson, A. (1997). Wheat cultivated with organic fertilizers and urea: Baking performance and dough properties. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 47(1), 35–42. <https://doi.org/10.1080/09064719709362436>
- Fuertes-Mendizábal, T., Aizpurua, A., González-Moro, M. B., & Estavillo, J. M. (2010). Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *European Journal of Agronomy*, 33(1), 52–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.03.001>
- Fuertes-Mendizábal, T., González-Torralba, J., Arregui, L. M., González-Murua, C., González-Moro, M. B., & Estavillo, J. M. (2013). Ammonium as sole N source improves grain quality in wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(9), 2162–2171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.6022>
- Gabriel, D., Pfitzner, C., Haase, N. U., Hüskén, A., Prüfer, H., Greef, J. M., & Rühl, G. (2017). New strategies for a reliable assessment of baking quality of wheat – Rethinking the current indicator protein content. *Journal of Cereal Science*, 77, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.002>
- Geyer, M., Mohler, V., & Hartl, L. (2022). Genetics of the Inverse Relationship between Grain Yield and Grain Protein Content in Common Wheat. *Plants*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/PLANTS11162146/S1>
- Gu, X., Liu, Y., Li, N., Liu, Y., Zhao, D., Wei, B., & Wen, X. (2021). Effects of the Foliar Application of Potassium Fertilizer on the Grain Protein and Dough Quality of Wheat. *Agronomy*, 11(9), 1749. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1749>
- Huérffano, X., Estavillo, J. M., Duñabeitia, M. K., González-Moro, M. B., González-Murua, C., & Fuertes-Mendizábal, T. (2021). Response of Wheat Storage Proteins and Breadmaking Quality to Dimethylpyrazole-Based Nitrification Inhibitors under Different Nitrogen Fertilization Splitting Strategies. *Plants (Basel)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/plants10040703>
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A., Lukme, L., & Akk, A. (2008). The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. *Agronomy Research*, 6(2), 459–469.
- Koppel R., & Ingver A. (2008). A Comparison of the Yield and Quality Traits of Winter Wheat and Spring Wheat. *Latvian Journal of Agronomy*, 11, 83–89.
- Laidig, F., Hüskén, A., Rentel, D., & Piepho, H.-P. (2022). Protein use efficiency and stability of baking quality in winter wheat based on the relation of loaf volume and grain protein content. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(4), 1331–1343. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04034-x>
- Laidig, F., Piepho, H. P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., & Huesken, A. (2017). Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theoretical and Applied Genetics*, 130(1), 223–245. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3>
- Lorenz Hartl, Volker Mohler, & Günter Henkelmann. (2011). *Backqualität und Ertrag im deutschen Weizensortiment. I. Historische Entwicklung* (Vol. 61). Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein.



- Lyu, X., Liu, Y., Li, N., Ku, L., Hou, Y., & Wen, X. (2022). Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization. *The Crop Journal*, 10(4), 1165–1177.
- Maghirang, E. B., Lookhart, G. L., Bean, S. R., Pierce, R. O., Xie, F., Caley, M. S., Wilson, J. D., Seabourn, B. W., Ram, M. S., Park, S. H., Chung, O. K., & Dowell, F. E. (2006). Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, 83(5), 520–528. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0520>
- Peck, A. W., McDonald, G. K., & Graham, R. D. (2008). Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*, 47(2), 266–274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.04.006>
- Pommer, G. (2002). *Vergleich von Ertrag und Backqualität von Winter-und Sommerweizen im ökologischen Landbau Einleitung*. <http://orgprints.org/00000790/>
- Rosell, C. M. (2011). The Science of Doughs and Bread Quality. In *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 3–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7>
- Rosenblueth, M., Ormeño-Orrillo, E., López-López, A., Rogel, M. A., Reyes-Hernández, B. J., Martínez-Romero, J. C., Reddy, P. M., & Martínez-Romero, E. (2018). Nitrogen Fixation in Cereals. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01794>
- Shahbazi, F., & Nematollahi, A. (2019). Influences of phosphorus and foliar iron fertilization rate on the quality parameters of whole wheat grain. *Food Sci Nutr*, 7(2), 442–448. <https://doi.org/10.1002/fsn3.804>
- Shahsavani, S., & Gholami, A. (2008). Effect of sulphur fertilization on breadmaking quality of three winter wheat varieties. *Pak J Biol Sci*, 11(17), 2134–2138. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.2134.2138>
- Shilpha, J., Song, J., & Jeong, B. R. (2023). Ammonium Phytotoxicity and Tolerance: An Insight into Ammonium Nutrition to Improve Crop Productivity. *Agronomy*, 13(6), 1487. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1487>
- Stepien, A., & Wojtkowiak, K. (2016). Effect of foliar application of Cu, Zn, and Mn on yield and quality indicators of winter wheat grain. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(2), 220–227.
- Thanhaeuser, S. M., Wieser, H., & Koehler, P. (2014). Correlation of Quality Parameters with the Baking Performance of Wheat Flours. *Cereal Chemistry*, 91(4), 333–341. <https://doi.org/10.1094/CHEM-09-13-0194-CESI>
- Wang, J., Pawelzik, E., Weinert, J., Zhao, Q., & Wolf, G. A. (2004). Effect of fungicide treatment on the quality of wheat flour and breadmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(25), 7593–7600. <https://doi.org/10.1021/jf0402779>
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24(2), 115–119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
- Wieser, H., Bushuk, W., & MacRitchie, F. (2006). The polymeric glutenins. *Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality*, 213–240.
- Wu, W., Wang, Y., Wang, L., Xu, H., Zörb, C., Geilfus, C. M., Xue, C., Sun, Z., & Ma, W. (2022). Booting stage is the key timing for split nitrogen application in improving grain yield and quality of wheat – A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 287, 108665. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2022.108665>
- Xue, C., Matros, A., Mock, H.-P., & Mühling, K.-H. (2019). Protein Composition and Baking Quality of Wheat Flour as Affected by Split Nitrogen Application. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>
- Xue, C., Schulte auf'm Erley, G., Rossmann, A., Schuster, R., Koehler, P., & Mühling, K.-H. (2016). Split Nitrogen Application Improves Wheat Baking Quality by Influencing Protein Composition Rather Than Concentration. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00738>
- Zhao, F. J., Hawkesford, M. J., & Mcgrath, S. P. (1999). Sulphur Assimilation and Effects on Yield and Quality of Wheat. *Journal of Cereal Science*, 30, 1–17. <http://www.idealibrary.comon>

To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen University & Research

**Open Teelten**

Lingewal 1

Postbus 200

6670 AE Zetten

T (+31) 488 473 702

**[www.wur.nl/openteelten](http://www.wur.nl/openteelten)**

**[info.openteelten@wur.nl](mailto:info.openteelten@wur.nl)**

Rapport WPR-OT 1086

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---