



BEMESTINGSADVIES

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

Notitie

Fosfaatstreefstoestand in de bodem voor maïs en gras

Juni 2016

**Debby van Rotterdam
Wim Bussink**



Soil for life



BEMESTINGSADVIES

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

Colofon

Uitgever

Commissie Bemesting Grasland en
Voedergewassen
p.a. Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
E-mail webmaster.asg@wur.nl
Internet <http://www.bemestingsadvies.nl>

Vormgeving, redactie en fotografie

Animal Sciences Group
van Wageningen UR

© Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

Overname van de adviezen is toegestaan,
mits de bron uitdrukkelijk wordt vermeld

De Commissie Bemesting Grasland en
Voedergewassen is een initiatief van LTO-
Nederland en wordt gefinancierd door het
ZuivelNL. De commissie draagt er zorg voor dat
er een onafhankelijk bemestingsadvies voor
iedereen beschikbaar is.

Aansprakelijkheid

De Commissie Bemesting Grasland en
Voedergewassen aanvaardt geen
aansprakelijkheid voor eventuele schade
die voortvloeit uit het gebruik van de
bemestingsadviezen

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Gras	5
2.1	Veldproeven gras NMI	5
2.2	P beschikbaarheidsindex gras	6
2.3	Streeftoestand bodem voor gras	8
2.4	Vergelijking streefwaarde met landbouwkundige klassen	10
3	Maïs	13
3.1	Veldproeven NMI	13
3.2	Uitwerking van het opbrengstmodel voor maïs	13
3.3	Streefwaarde voor maïs	15
3.4	P-streefwaarde voor maïs in perspectief	16
4	Vergelijking streeftoestand gras en maïs	18
4.1	Algemeen	18
4.2	PBI versus P-CaCl ₂ en P-AL	19
5	Conclusies	20
6	Referenties	21

1 Inleiding

Verskillende onderzoeken hebben laten zien dat voor de P-opname door een groeiend gewas de P-toestand van de bodem belangrijker is dan P-bemesting (onder andere Van Dijk et al., 2005; Bussink et al., 2011a). Daarnaast laten deze studies zien dat een lage P-toestand van de bodem niet kan worden gecompenseerd met een hoge P-gift. Een te lage P-toestand van de bodem resulteert in een opbrengstderving. Een goede inschatting van de fosfaattoestand van de bodem en handhaving van de juiste streeftoestand zijn dus belangrijk. Ook gezien de steeds strenger wordende gebruiksnormen voor P is het voor het waarborgen van een optimale productie op de lange termijn essentieel dat de P-toestand van de bodem op een bepaald streefniveau kan worden gehandhaafd. Eveneens is van belang dat niveaus die hoger zijn dan landbouwkundig wenselijk, verlaagd worden en zo ook het risico op uit- en afspoeling.

In 2011 zijn door Bussink et al., twee rapporten verschenen met handvatten om het bemestingsadvies voor respectievelijk maïs en gras aan te passen. De experimentele onderbouwing bestond voornamelijk uit uitgebreide bemestingsproeven die in 2007 en 2008 plaatsvonden. De uitkomst voor zowel maïs als gras was dat het meerwaarde heeft om de fosfaattoestand van de bodem te karakteriseren op basis van de combinatie van een maat voor:

- de direct beschikbare hoeveelheid P ook wel P-intensiteit genoemd (benaderd door $P\text{-CaCl}_2$); en
- een maat voor de buffercapaciteit van de bodem om deze directe P beschikbaarheid aan te vullen gedurende de periode van P-onttrekking door een groeiend gewas (benaderd door de ratio $P\text{-AL}$ over $P\text{-CaCl}_2$).

Dit resulteerde in tabellen met zowel $P\text{-CaCl}_2$ als $P\text{-AL}$ en een daar bijhorend bemestingsadvies. Omdat de verwachting is dat de praktijk gebaat is bij een zo simpel mogelijk systeem om de fosfaattoestand te duiden is onderzocht of de parameters $P\text{-AL}$ en $P\text{-CaCl}_2$ niet kunnen worden gecombineerd in één parameter. De systematiek van één P beschikbaarheidsindex zou dan toegepast kunnen worden op zowel gras als maïs. Daardoor zou het vergelijken van deze twee ook inzichtelijker en gemakkelijker moeten worden.

In deze notitie wordt voor zowel maïs als gras de systematiek van één P beschikbaarheidsindex uitgewerkt op basis van het combineren van P-intensiteit, P-buffercapaciteit en P-kwantiteit. Deze P-beschikbaarheidsindex wordt vervolgens ingezet om inzicht te krijgen in de P-streeftoestand van de bodem voor maïs en gras.

2 Gras

2.1 Veldproeven gras NMI

In 2007 en 2008 zijn verspreid over Nederland fosfaatbemestingsproeven met verschillende P-trappen uitgevoerd, met in totaal 436 experimentele eenheden (Tabel 1). Daarnaast zijn via monitoring van bodem- en gewas nog eens gegevens verkregen van 144 percelen. Opzet en uitwerking van deze proeven is beschreven in Bussink et al., 2011b.

Tabel 1 Overzicht van de experimenten en de monitoring dat in 2007 en 2008 is uitgevoerd.

Experimenten			Monitoring	
	Aantal percelen*	P-trap	exp units	Aantal percelen
2007	58	3	174	70
2008	58	5	290	74
totaal	58		464	144
Door uitval uiteindelijk			436	

*Per bedrijf minimaal 2 percelen die sterk verschillen in P-toestand

De veldproeven die in 2007 en 2008 zijn uitgevoerd laten slechts een zeer gering effect van de P-toestand van de bodem op de drogestofopbrengst zien. Voor de voerkwaliteit is het P-gehalte in gras van belang. Het P-gehalte in gras laat wel een afhankelijkheid zien van de P-toestand van de bodem.

Voor beschrijven van het P-gehalte middels een model is als uitgangspunt een variant op de groeicurve volgens Mitscherlich ($y = a(1 - e^{-bx})$) (Mead and Curnow, 1983) gekozen. In het model wordt het P-gehalte in de eerste snede (Pg1ACT) gerelateerd aan het potentiële P-gehalte in de eerste snede (Pg1POT) op een bepaalde locatie en een dervingsfactor (F):

$$Pg1ACT_locatie_y = Pg1POT_Locatie_y \times (1 - e^{-F}) \quad \text{Vergelijking 1}$$

Met:

Pg1ACT_locatie_y = potentiële P-gehalte, voor alle combinaties van locaties en jaar

Pg1POT_Locatie_y = actuele P-gehalte, voor alle combinaties van locaties en jaar

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en bemesting
= $(-a_0 \times A - b_0 \times B - \dots - i_0 \times I)$ wat herschreven wordt tot $(-e^a \times A - e^b \times B - \dots - e^i \times I)$

De richtingscoëfficiënten ($a_0, b_0 \dots i_0$) van de op te nemen modelparameters A, B...I in F zijn herschreven als een exponent ($-e^a, -e^b \dots -e^i$) om zeker te stellen dat alle richtingscoëfficiënten positief zijn.

Om het effect weersfactoren uit te middelen is een model ontwikkeld op basis van een zo groot mogelijke dataset. Hiervoor zijn de data van de veldproeven uit 2007 en 2008 (N=676) aangevuld met data uit andere proeven en monitoringsdata van grond en gewas (1^{ste} snede) daterend tussen 1999 en 2006 (N=349). De dervingsfactor in dit model wordt beschreven met de formule:

$$F = -e^a \times \ln(P - CaCl_2) - e^b \times \text{ratio} - e^c \times P_{gift} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^f \times pH - e^g \times K - CaCl_2 \quad \text{Vergelijking 2}$$

De coëfficiënten staan in onderstaande tabel (Tabel 2). Dit model, (vergelijking 1 in combinatie met vergelijking 2), is in deze notitie nader uitgewerkt om inzicht te krijgen in de streeftoestand van de bodem om een optimale P-gehalte in het gras te kunnen waarborgen.

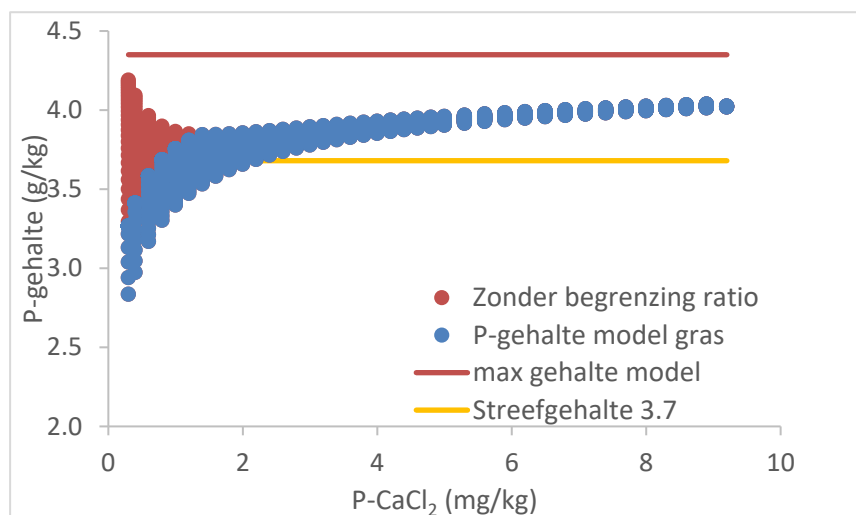
Tabel 2 Modelcoëfficiënten van de model voor voorspellen van het P-gehalte van de 1^{ste} snede op basis van grasmonsters 1999-2008 (Bussink et al., 2011b).

		Avg	se
a	LN(P-CaCl ₂)	-0,695	0,169
b	Ratio	-4,929	0,259
c	P-gift totaal	-5,061	0,218
d	Werkzame N-gift	-5,855	0,322
h	pH	-1,846	0,134
i	K-CaCl ₂	-6,166	0,31
n		952	
R ² _{adj} (%)		82,9	

2.2 P beschikbaarheidsindex gras

Via vergelijking 1 en 2 kan de verandering in P-opname van de eerste grassnede worden berekend op basis van de variatie in P-toestand in de bodem. Hierbij wordt de P-toestand gekarakteriseerd door de combinatie van een maat voor de P-intensiteit (LN P-CaCl₂) en een maat voor de P-buffercapaciteit (ratio P-AL over P-CaCl₂, vergelijking 2). In Figuur 1 is voor alle reële combinaties van P-CaCl₂ en P-AL het P-gehalte in het gras berekend. De P-opname is vooral gerelateerd aan P-CaCl₂. Deze relatie wordt beïnvloed door de buffercapaciteit van de bodem. Het effect van de buffer capaciteit op het P-gehalte komt tot uitdrukking in de spreiding. Wanneer de P-reserve zoals gemeten met P-AL relatief groot is ten opzichte van P-CaCl₂, is de P-opname groter dan als P-AL relatief klein is ten opzichte van P-CaCl₂. Vooral bij een lage P-CaCl₂ neemt de beschikbaarheid en daarmee het P-gehalte toe met een toename van beschikbare P-reserves in de bodem (P-AL). Dit is geheel in lijn met de verwachting. Bij een hoge directe beschikbaarheid zoals bepaald met P-CaCl₂ speelt de buffercapaciteit slechts in geringe mate een rol.

Bij P-CaCl₂ kleiner dan 1 mg/kg laat het model een artefact zien waarbij het model een sterke toename in P-gehalte berekent omdat de bijdrage van de buffercapaciteit overcompenseert voor de lage P-CaCl₂. Dit kan simpel verholpen worden door de ratio P-AL over P-CaCl₂ te begrenzen op een maximum. Dit maximum is in dit model gesteld op 73. De achtergrond van dit maximum is in de navolgende paragraaf



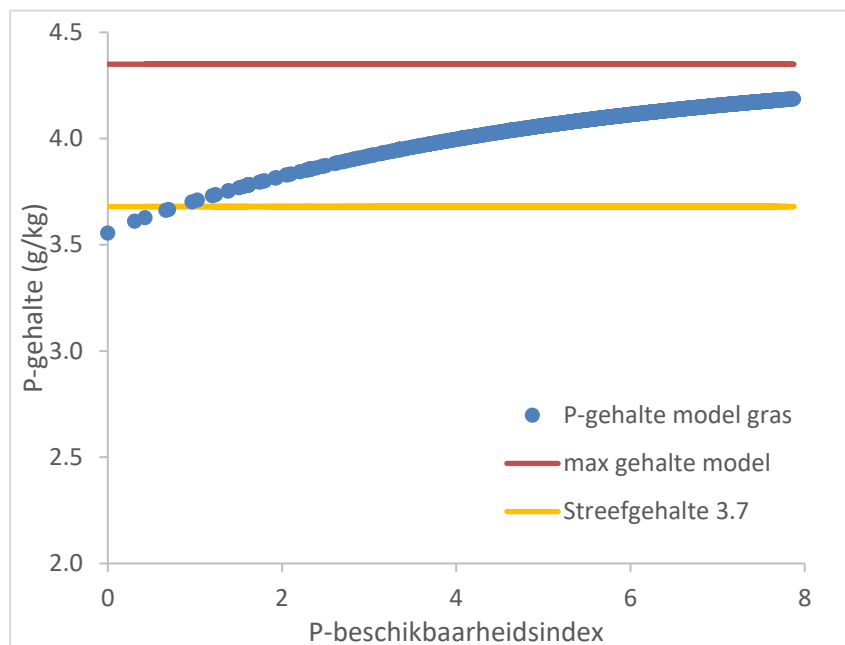
onderbouwd (Figuur 5).

Figuur 1. Relatie tussen het berekende P-gehalte in de eerste grassnede en P-CaCl₂. De oranje punten zijn het gevolg van een artefact in het model waarbij de bijdrage van de buffercapaciteit overcompenseert voor de lage P-CaCl₂ en de berekende P-gehalte te hoog wordt. Bij de blauwe punten is dit artefact verholpen door de ratio P-AL over P-CaCl₂ te begrenzen op 73.

Het effect van de fosfaattoestand van de bodem op het P-gehalte in de 1^{ste} snede wordt in het model gebaseerd op zowel LN(P-CaCl₂) als de ratio P-AL over P-CaCl₂ (Vergelijking 2). Op basis van een optimalisatie procedure is berekend hoe P-CaCl₂ en P-AL zijn te combineren tot één indicator voor de P-beschikbaarheid in de bodem voor gras:

$$\text{P-beschikbaarheidsindex (PBI)} = \text{LN}(\text{P-CaCl}_2) * (-0,0114 * \text{P-AL} + 2,5) + 0,0251 * \text{P-AL} + 2 \text{ Vergelijking 3}$$

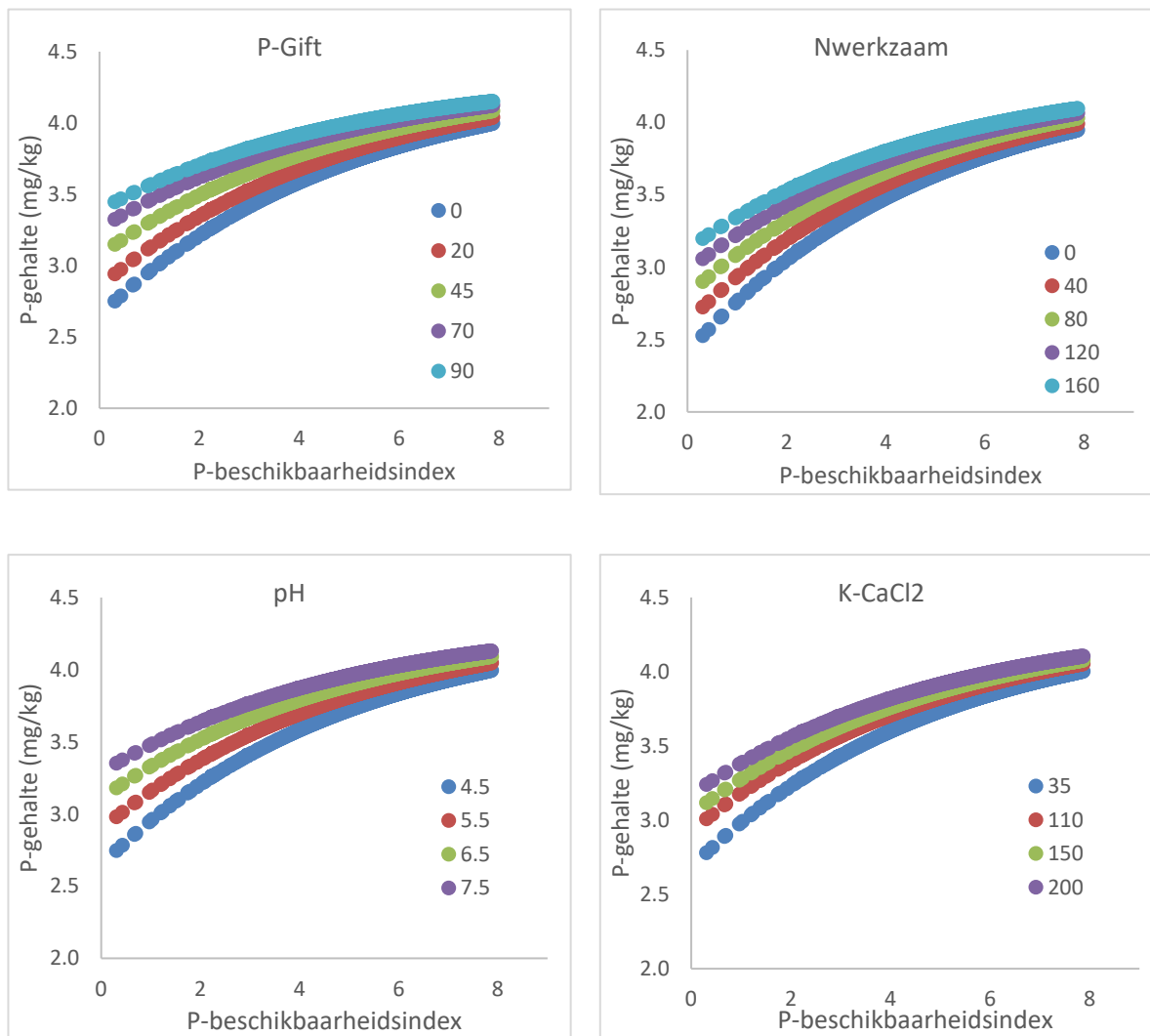
De optimalisatie procedure bestaat eruit vergelijking 3 zo te optimaliseren dat de relatie tussen deze beschikbaarheidsindex (PBI) en P-gehalte een traditionele response curve volgt (Figuur 2). De modelparameters in vergelijking 3 zijn specifiek voor gras en zijn een afgeleide van het door Bussink et al. (2011) ontwikkelde model. De parameters voor $\text{LN}(\text{P-CaCl}_2)$ en de ratio zijn bepaald door de optimale fit. De optimale fit is gevonden wanneer het berekende P-gehalte en PBI zijn gerelateerd door één enkele respons curve. De as-afsnede is zo gekozen dat PBI positief is voor alle gronden waarvan de P-toestand van de bodem van grasland binnen een normaal bereik ligt ($\text{P-CaCl}_2 > 0,3 \text{ mg/kg}$ en $\text{P-AL} > 8 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100\text{g}$).



Figuur 2. Relatie tussen berekende P-gehalte in de eerste grassnede en P-beschikbaarheidsindex (PBI). De PBI is berekend op basis van de combinatie P-CaCl_2 en de ratio P-AL over P-CaCl_2 (vergelijking 3). De overige parameters in het model zijn $\text{P-gift}=20 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$, $\text{Werkzame N-gift}=90 \text{ kg/ha}$, $\text{pH}=5,5$ en $\text{K-CaCl}_2=100\text{mg/kg}$.

Naast de beschikbaarheidsindex van P in de bodem zijn ook de totale P-gift, de werkzame N-gift, de pH en K-CaCl_2 van de bodem belangrijke dervingsfactoren die samen de berekende P-gehalte in de eerste snede bepalen (vergelijking 2). In Figuur is het model nader uitgewerkt waarbij deze variabelen variëren over de te verwachte bandbreedte. Het effect van de verschillende parameters neemt af met toenemende P-beschikbaarheid in de bodem omdat hier niet naar opbrengst maar naar P-gehalte in de eerste snede wordt gekeken. Voor de opbrengst zal het effect van de werkzame N-gift niet afnemen met toenemende P-beschikbaar in de bodem.

Het effect van pH en K-CaCl_2 is groter naarmate de P- en werkzame N-gift lager is. Omdat in Figuur voor gangbare N- en P-giften is gekozen zou het effect van de pH en K-CaCl_2 in werkelijkheid iets groter kunnen zijn. Het significante effect van pH van de grond op P-gehalte kan het gevolg zijn van een hogere effectiviteit van de P-mestgift bij een hogere pH (pers. com. Dr. Wall, Teagasc Ireland). Een uitgebreide discussie omtrent deze parameters staat beschreven in Bussink et al. (2011).



Figuur 3. Effect van de verschillende parameters die samen het P-gehalte in de eerste snede bepalen. Per figuur wordt één parameter in combinatie met de P-beschikbaarheid in de bodem (x-as) gevarieerd. De andere 3 parameters worden op een vaste waarde gehouden; pH= 5,5, K-CaCl₂=100 mg/kg, P-gift=20 kg P₂O₅/ha en werkzame N-gift=90 kg/ha.

2.3 Streeftoestand bodem voor gras

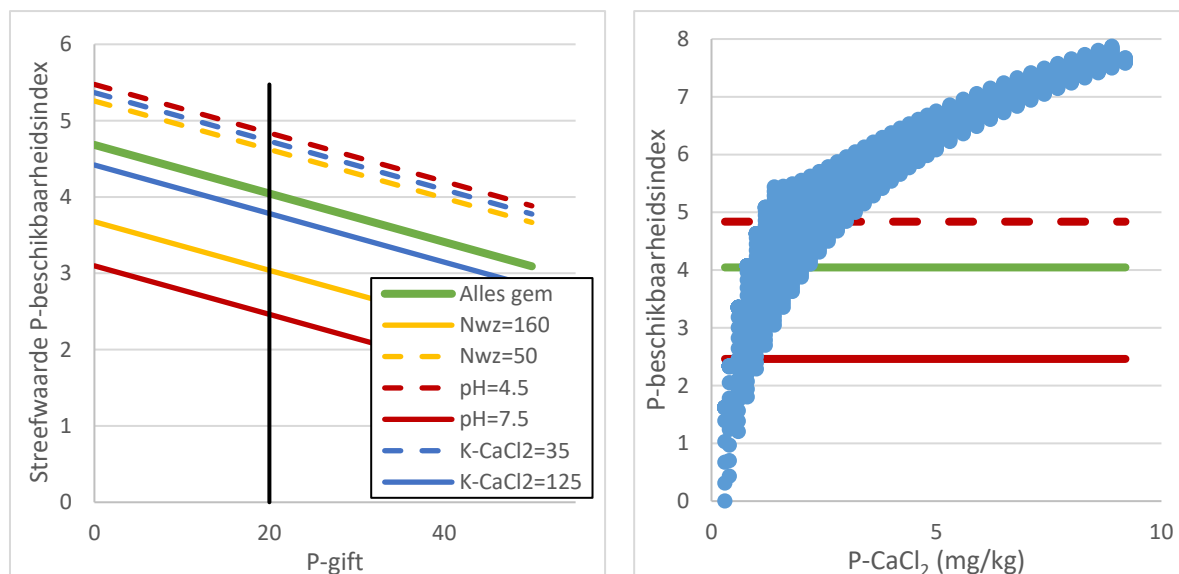
De streeftoestand van de bodem voor de beschikbaarheid van P is gedefinieerd als de P-beschikbaarheidsindex waarbij een P-gehalte in de eerste snede van minimaal 3,7 mg/kg kan worden bereikt met een P-gift die gelijk staat aan de onttrekking (hier gesteld op 20 kg P₂O₅/ha). In Figuur 2 is te zien dat een P-gehalte van 3,7 g/kg wordt bereikt bij een PBI van 4 (andere parameters zijn gemiddeld of standaard).

Er kan echter niet één algemeen toepasbare streefwaarde worden bepaald omdat de streefwaarde voor PBI ook afhankelijk is van de andere (model)parameters die van invloed zijn op het P-gehalte (Vergelijking 2). Dit is te zien in Figuur . Bij de aanname van een gangbare P-gift via mest van 20 kg P₂O₅/ha (25-30 m³ dunne rundermest) en een P-gehalte in gras van 3,7 g/kg voor de 1^{ste} snede varieert de streefwaarde voor PBI tussen 2,5 en 4,8. In de rechter figuur (Figuur 3) is te zien met welke variatie in P-CaCl₂ deze variatie in streefwaardes voor PBI overeenkomen. De variatie in P-CaCl₂ bij een bepaalde PBI is het gevolg van de variatie in P-AL. Bij een hoge P-CaCl₂ is bij een gegeven PBI P-AL laag en andersom.

De streefwaarde voor PBI is 4 wanneer de andere parameters optimaal dan wel gemiddeld zijn (werkzame N gift=90 kg/ha, pH=5,5, K-CaCl₂=100 mg/kg en P-gift 20 kg/ha). Wanneer de andere parameters lager worden (lagere pH, lagere N-gift, of lagere K-CaCl₂) neemt de streefwaarde voor PBI

toe. Dit is onwenselijk. Wanneer de andere parameters suboptimaal zijn moet er eerst naar worden gestreefd deze te verhogen dan wel te verbeteren.

Een hogere werkzame N-gift, K-CaCl₂ of pH kunnen het effect hebben dat de streefwaarde voor de PBI lager wordt. Uit het model komt naar voren dat vooral een hogere pH, maar ook een hogere N-gift een verlagend effect kunnen hebben op de streefwaarde. De streefwaarde voor PBI ligt daarom tussen 2,5 en 4.

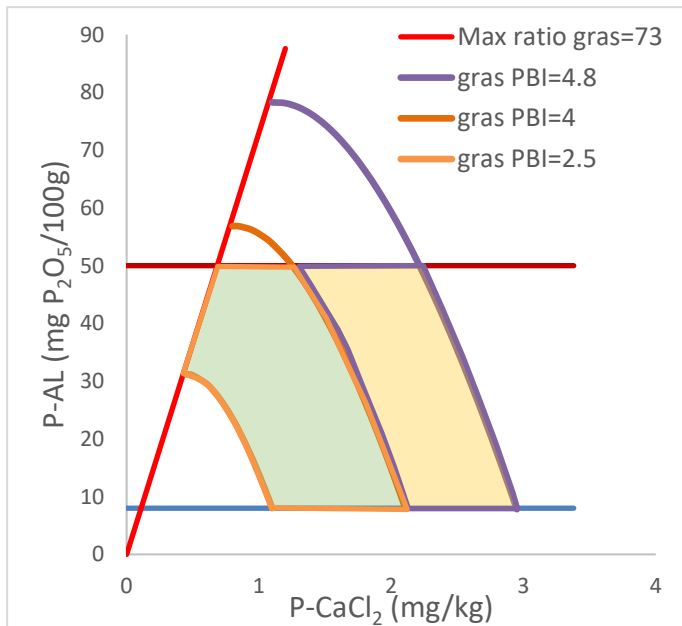


Figuur 4. Verandering in streefwaarde van de P-beschikbaarheidsindex (PBI) van de bodem als functie van de P-gift en de andere modelparameters die van invloed zijn op het P-gehalte in de eerste snede, uitgaande van een gehalte in gras van 3,7 g/kg ds. Het effect van de variatie binnen de modelparameters is getoond door per parameter dezelfde kleur te gebruiken en voor de hoge waarde een doorgetrokken lijn te gebruiken en voor de lage waarde een gestreepte lijn. Bij een variatie in één van de parameters zijn de andere gemiddeld gehouden (pH= 5,5, K-CaCl₂=100 mg/kg en Werkzame N-gift=90 kg/ha). In de rechter figuur wordt de range in streefwaarde voor PBI uitgezet tegen P-CaCl₂ en vergeleken met alle mogelijke combinaties van P-AL en P-CaCl₂ (blauwe punten).

Wat een bereik in PBI tussen 2,5 en 4,8 betekent in termen van P-CaCl₂ en P-AL is nader uitgewerkt in Tabel 3 en gevisualiseerd in Figuur 5. Bij een gemiddelde PBI van 4 is het mogelijke bereik van P-CaCl₂ tussen 0,78 en 2,10 mg/kg. Dit bereik is berekend door aan de ene kant P-AL te begrenzen op een lage waarde van 8 mg P₂O₅/100g (P-CaCl₂=2,1) en aan de andere kant de ratio te begrenzen op 73 (P-CaCl₂=0,78). De P-AL die hoort bij deze maximale ratio van 73 is echter hoger (57 mg P₂O₅/100g) dan landbouwkundig wenselijk. Wanneer bij een PBI van 4 P-AL wordt begrensd op 50 dan is de bijbehorende P-CaCl₂ 1,25 mg/kg. Voor een streefwaarde in PBI van 4 is de gewenste variatie in P-CaCl₂ /P-AL tussen 1,25/50 en 2,1/8. In Figuur 5 toont het gele vlak het streefgebied voor de combinatie van P-CaCl₂ en P-AL waar de andere parameters (werkzame N-gift, pH en K-CaCl₂) suboptimaal dan wel lager dan gemiddeld zijn. Het groene vlak toont het streefgebied voor de combinatie van P-CaCl₂ en P-AL waar de andere parameters gemiddeld dan wel beter of hoger dan gemiddeld zijn.

Tabel 3 Variatie in P-CaCl₂ en P-AL bij een bepaalde PBI. De range in P-CaCl₂ is berekend door naast PBI ook P-AL of de ratio vast te stellen (grijs gearceerd).

PBI	P-CaCl ₂ (mg/kg)	P-AL (mg P ₂ O ₅ /100g)	Ratio
2,5	0,43	31	73
2,5	1,10	8	7
4	0,78	57	73
4	1,25	50	40
4	2,10	8	4
4,8	1,05	78	73
4,8	2,21	50	23
4,8	2,95	8	3



Figuur 5. De PBI streefwaardes voor gras uitgesplitst naar de combinatie P-AL en P-CaCl₂. Het gele vlak toont het streefgebied voor de combinatie van P-CaCl₂ en P-AL waar de andere parameters (werkzame N-gift, pH en K-CaCl₂) suboptimaal dan wel lager dan gemiddeld zijn. Het groene vlak toont het streefgebied voor de combinatie van P-CaCl₂ en P-AL waar de andere parameters gemiddeld dan wel beter of hoger dan zijn.

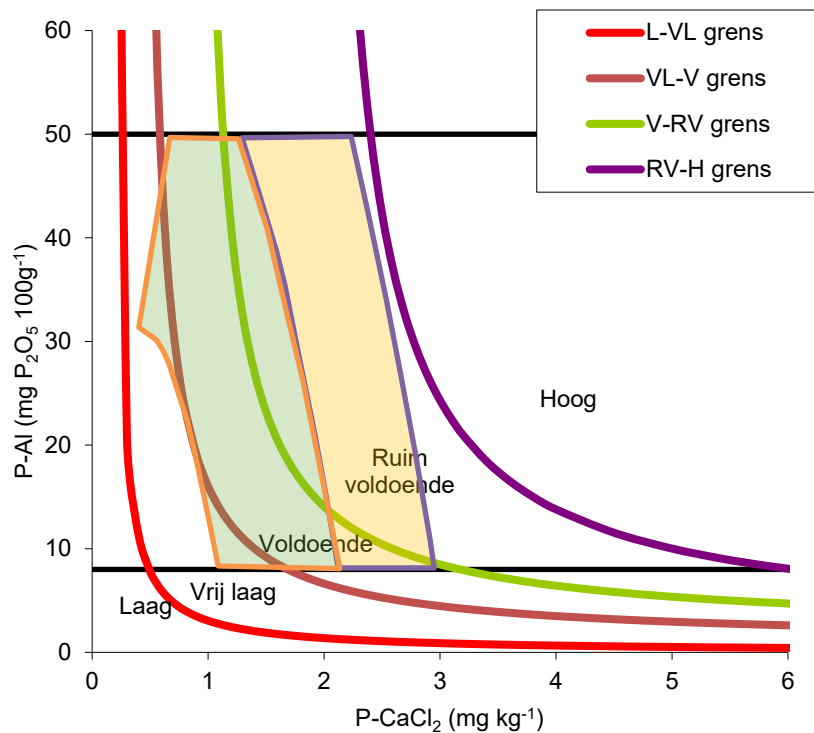
Figuur 5 laat de onderbouwing zien van de eerder genoemde begrenzing van de ratio P-AL over P-CaCl₂ bij 73. De relatie tussen P-AL en P-CaCl₂ bij een bepaalde streefwaarde volgt een parabool. Bij een ratio van 73 wordt deze parabool precies in de top afgesneden. Hierdoor kunnen geen vreemde combinaties ontstaan waar bij een lagere combinatie van P-AL en P-CaCl₂ dezelfde streefwaarde wordt gevonden.

2.4 Vergelijking streefwaarde met landbouwkundige klassen

In een eerder onderzoek in opdracht van Eurofins Agro is de indeling van graslandgronden in landbouwkundige klassen op basis van de combinatie P-AL en P-CaCl₂ afgeleid (Van Rotterdam en Bussink, 2014). In dit onderzoek is de indeling op basis van alleen P-AL vertaald naar een indeling op basis van zowel P-AL als P-CaCl₂ met de randvoorwaarde dat het aantal gronden in elke klasse gemiddeld genomen niet verandert in de nieuwe indeling ten opzichte van de oude indeling op basis van alleen P-AL. De classificering van een individueel perceel kon wel veranderen maar het gemiddeld aantal gronden per klasse niet. Dit heeft geleid tot een aantal krommes die staan weergegeven in Figuur 6.

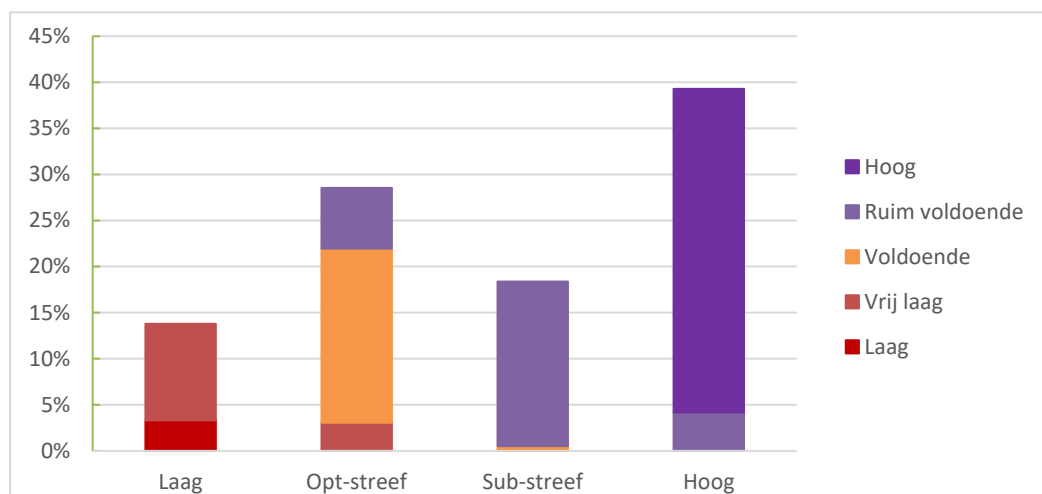
In Figuur 6 staan naast de landbouwkundige klassengrenzen op basis van de combinatie P-AL en P-CaCl₂ ook de vlakken weergegeven die overeenkomen met een PBI tussen 2,5 en 4 (groen vlak) en een PBI tussen 4 en 4,8 (geel vlak). Het groene vlak komt zeer goed overeen met de landbouwkundige klasse voldoende.

Wanneer de andere parameters die het P-gehalte in de eerste snede beïnvloeden suboptimaal zijn wordt de streefwaarde voor PBI hoger. Het vlak waar de combinatie P-AL en P-CaCl₂ samen tussen PBI 4 en 4,8 ligt is aangegeven met het gele vlak in Figuur 6. Dit vlak komt overeen met de landbouwkundige waardering ruim voldoende. Zoals gezegd is het beter om in dit traject de andere parameters zoals, pH en werkzame N-gift (en zo mogelijk K-CaCl₂) te verbeteren zodat ook de streefwaarde voor de PBI lager wordt.



Figuur 6. De PBI streefwaarde voor gras vergeleken met de indeling van grasland gronden in landbouwkundige klassen op basis van de combinatie P-AL en P-CaCl₂ (Van Rotterdam en Bussink, 2014). De licht groene en licht gele vlakken komen overeen met respectievelijk het optimale en suboptimale bereik in P-streeftoestand.

Wanneer de uitslagen van het bodemonderzoek van alle graslandpercelen die in 2010 en 2011 door Eurofins Agro zijn geanalyseerd (N=57552) worden ingedeeld in de categorieën laag (PBI<2,5), optimaal streeftraject (PBI 2,5 – 4), suboptimaal streeftraject (PBI 4 – 4,8) en hoog (PBI>4,8) blijkt dat de meeste gronden nog in de categorie hoog zitten. Er is een redelijk goede overeenstemming tussen basis van de combinatie P-AL en P-CaCl₂ (Figuur 7). De gronden die landbouwkundig "hoog" zijn, zijn de indeling van gronden op basis van het PBI streeftraject en de landbouwkundige klassenindeling op basis van de PBI streefwaarde ook hoog. De gronden die landbouwkundig de classificering laag of vrij laag krijgen zijn grotendeels ook lager dan het streeftraject. Alle 11177 gronden waar de fosfaattoestand landbouwkundig geclassificeerd wordt als voldoende liggen ook in het optimale streeftraject.



Figuur 7. Vergelijking tussen de indeling van gronden op basis van het PBI streeftraject en de landbouwkundige klassenindeling op basis van de combinatie P-AL en P-CaCl₂.

3 Maïs

3.1 Veldproeven NMI

In 2007 en 2008 zijn bemestingsveldproeven met snijmaïs uitgevoerd op een groot aantal locaties. De drogestofopbrengst is gemeten in combinatie met bodemkenmerken en bemesting. Door Bussink et al. (2011a) is op basis van deze data een model afgeleid gebaseerd op een variant van de groeicurve volgens Mitscherlich ($y=a(1-e^{-bx})$) (Mead and Curnow, 1983). Daarin wordt de drogestofopbrengst gerelateerd aan de potentiële drogestofopbrengst op een bepaalde locatie en een dervingsfactor (F):

Het P-gehalte in gras is beschreven met een model gebaseerd op de Mitscherlich vergelijking ($y=a(1-e^{-bx})$). In het model wordt het P-gehalte in de eerste snede (Pg1ACT) gerelateerd aan het potentiële P-gehalte in de eerste snede (Pg1POT) op een bepaalde locatie en een dervingsfactor (F):

$$DsACT_locatie_y = DsPOT_Locatie_y \times (1-e^F) \quad \text{Vergelijking 4}$$

Met:

DsPOT_locatie_y = potentiële drogestofopbrengst, voor alle combinaties van locaties en jaar

DsACT_Locatie_y = actuele drogestofopbrengst, voor alle combinaties van locaties en jaar

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en bemesting
= $(-a_0 \times A - b_0 \times B - \dots - i_0 \times I)$ wat herschreven wordt tot $(-e^a \times A - e^b \times B - \dots - e^i \times I)$

Waarbij elke locatie zijn eigen potentiële opbrengst heeft ($DS_{POT_Locatie_y}$) maar het gedrag van bodem- en bemestingsparameters (de dervingsfactor F) op alle locaties vergelijkbaar is. Bij hoge waarden van de bodemeigenschappen en bemestingsniveaus wordt de dervingsfactor F in vergelijking 1 sterk negatief, waardoor $(1-e^F)$ de waarde 1 benadert. De actuele productie benadert dan de potentiële productie. De richtingscoëfficiënten ($a_0, b_0 \dots i_0$) van de op te nemen modelparameters A, B...I in F zijn herschreven als een exponent ($-e^a, -e^b \dots -e^i$) om zeker te stellen dat alle richtingscoëfficiënten positief zijn

De beste fit van het model op de data uit 2007 en 2008 werd verkregen met de variabelen P-CaCl₂, de ratio P-AL over P-CaCl₂ (ratio), P-gift dierlijke mest (Pdm), P-gift kunstmest (Pkm) en werkzame N-gift. De dervingsfactor wordt beschreven met de formule:

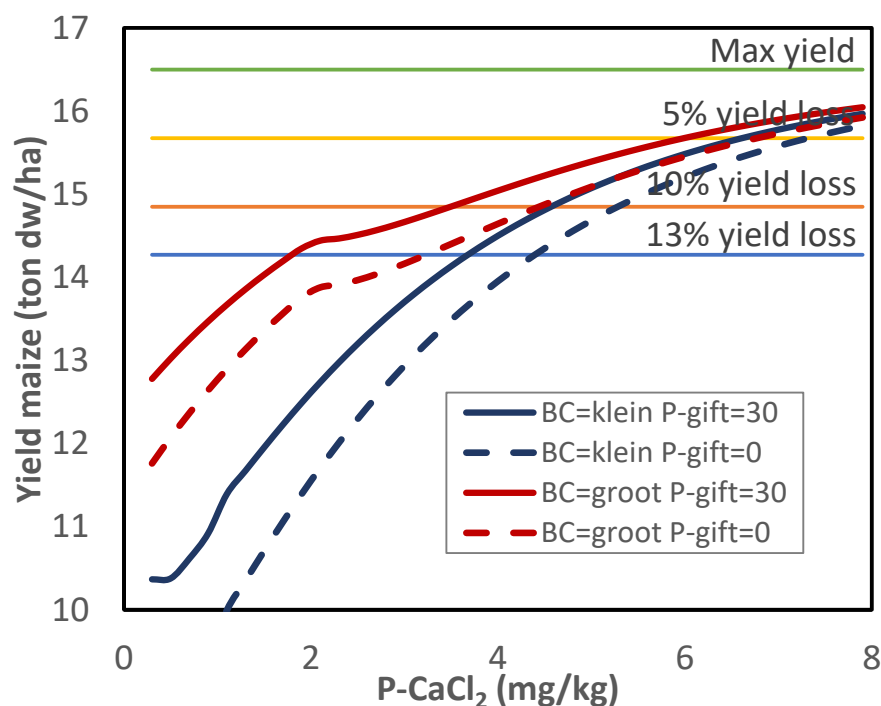
$$F = -e^a \times P\text{-CaCl}_2 - e^b \times \text{ratio} - e^c \times \ln(Pkm+1) - e^d \times \ln(Pdm+1) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

Een nadere uitwerking van bovenstaande model is hier gebruikt om voor maïs een inschatting te maken van de P-streeftoestand van de bodem.

3.2 Uitwerking van het opbrengstmodel voor maïs

Het effect van P-toestand van de bodem (op basis van de combinatie P-CaCl₂ en de ratio P-AL over P-CaCl₂) op drogestofopbrengst bij een bepaalde potentiële opbrengst, N-gift en P-gift zijn in een aantal scenario's bekeken op basis van hiervoor beschreven model. In elk scenario is de potentiële opbrengst in overeenstemming met Bussink et al. (2011) gesteld op 16,5 ton ds ha⁻¹. De dervingsfactor is berekend zoals hierboven beschreven. De berekende relatie tussen drogestofopbrengst en fosfaattoestand, is weergegeven in Figuur 1 waarin ook de lijnen voor 5%, 10% en 13% opbrengstderving zijn getoond. De opbrengstderving van 13% komt overeen met een drogestofopbrengst van 14,3 ton ds/ha wat overeen komt met de gemiddelde gerealiseerde opbrengst in de maïsveldproef.

Er is een duidelijke relatie tussen $P\text{-CaCl}_2$ en opbrengst. Bij $P\text{-CaCl}_2$ kleiner dan ongeveer 4 mg kg^{-1} wordt die sterk beïnvloed door de buffering vanuit de P-reserves in de bodem (hier benaderd door P-AL). De invloed van de buffering op de relatie tussen $P\text{-CaCl}_2$ en opbrengst neemt af met toenemende $P\text{-CaCl}_2$. Dit is ook te verwachten omdat bij een hoge directe P beschikbaarheid buffering minder belangrijk wordt voor de totale hoeveelheid beschikbaar P voor een gewas dan bij een lage directe beschikbaarheid. Ter vergelijking komt een $P\text{-CaCl}_2$ van 4 mg kg^{-1} overeen met een hoeveelheid P van +/- $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (aanname bouwvoor = 25 cm). Dit komt ongeveer overeen met de helft van de P-onttrekking door maïs, van $65 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (opbrengst $14,3 \text{ kg ds ha}^{-1}$; $2 \text{ mg P kg}^{-1} \text{ ds}$) in een heel groeiseizoen en met iets minder dan de helft van de maximale toegestane P-gift ($75 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$).



Figuur 8. Berekende relatie tussen drogestofopbrengst van maïs en $P\text{-CaCl}_2$ zoals die wordt beïnvloed door de buffercapaciteit van de bodem (BC) en de P-gift (0 of $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) bij een N-gift van $180 \text{ kg werkzame N ha}^{-1}$. De opbrengstderving van 13% komt overeen met een drogestofopbrengst van $14,3 \text{ ton ds ha}^{-1}$ wat overeenkomt met de gemiddelde gerealiseerde opbrengst in de maïsveldproef.

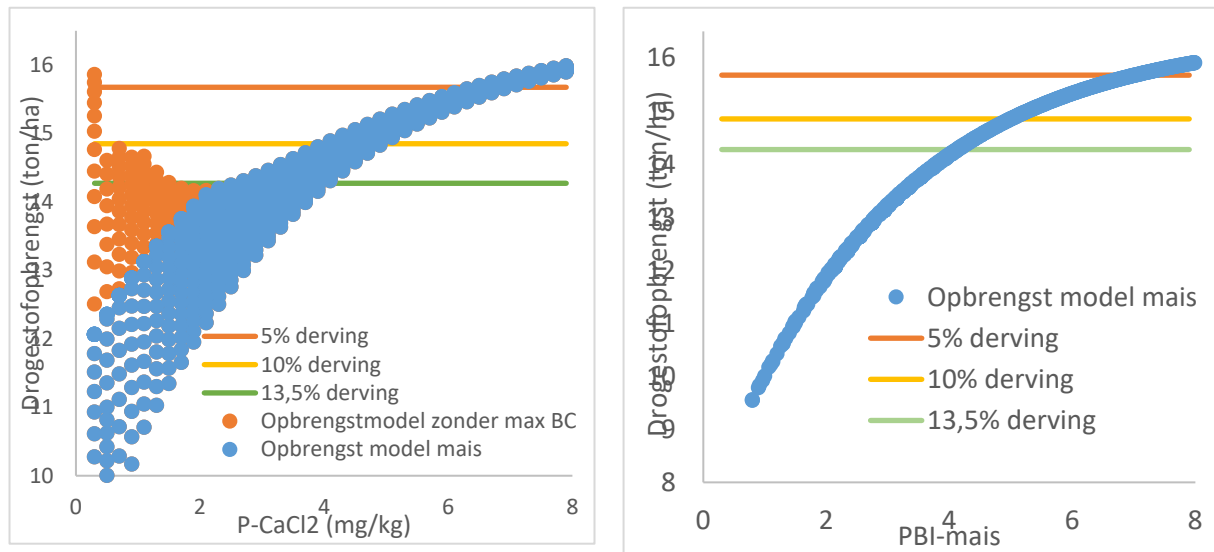
Zoals getoond in Figuur 8, beïnvloedt zowel $P\text{-CaCl}_2$ als de buffercapaciteit de opbrengst. Zo lijkt het afleiden van een P-streefstoestand ingewikkeld te worden wanneer twee bodemkenmerken apart worden gehanteerd. Bijvoorbeeld een $P\text{-CaCl}_2$ van 2 mg kg^{-1} en een grote buffer capaciteit (BC, benaderd door de ratio P-AL over $P\text{-CaCl}_2$) heeft hetzelfde effect op opbrengst als een $P\text{-CaCl}_2$ van 4 mg kg^{-1} en een kleine BC. Uit een verdere analyse blijkt echter dat de bodem P-toestand kan worden gekarakteriseerd door de integratie van $P\text{-CaCl}_2$ en BC in één parameter. Dit is berekend door de combinatie van $P\text{-CaCl}_2$ en P-AL zo te optimaliseren dat de relatie tussen de afgeleide P-beschikbaarheidsindex (PBI) en drogestofopbrengst één curve volgt. Voor het model op basis van maïsproef resulteert dit in de volgende vergelijking:

$$P\text{-beschikbaarheidsindex}_{\text{maïs}} = P\text{-CaCl}_2 + 0,05 \times \text{ratio (P-AL over } P\text{-CaCl}_2)$$

Voor het gemak zijn de eenheden van $P\text{-CaCl}_2$ (mg kg^{-1}) en P-AL ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$) in de vergelijking ongewijzigd gelaten. Deze definitie van bodem P- beschikbaarheidsindex, dat wil zeggen de relatieve bijdrage van P- CaCl_2 en BC aan de beschikbaarheid voor het gewas, zal naar verwachting verschillen tussen gewassen door verschillen in wortelmorfologie, bewortelingdiepte, P-opnamesnelheid, enz.

Wanneer de op deze manier berekende fosfaattoestand wordt uitgezet tegen opbrengst dan is er per scenario één curve waarin $P\text{-CaCl}_2$ en P-AL verenigd zijn (Figuur 9). Deze curve komt overeen met een klassieke respons curve tussen P-toestand van de bodem en opbrengst en dient hier als basis om de P-streefwaarde te bepalen.

Vergelijkbaar met gras moet de ratio P-AL over P-CaCl₂ worden begrenst om geen artefacten in de berekende opbrengsten te krijgen. Voor maïs ligt deze grens bij een ratio van 37. Het artefact en het effect van deze begrenzing is zichtbaar in Figuur 9 (linker figuur).



Figuur 9. Relatie tussen berekende drogestofopbrengst van maïs en P-CaCl₂, waarbij bodem P-reserves vooral bij een lage P-CaCl₂ van grote invloed zijn op de opbrengst (linker figuur) en de relatie tussen opbrengst en P-toestand gedefinieerd als $P-CaCl_2 = 0.05 \times \text{ratio P-AL over P-CaCl}_2$). In de berekening is de N-gift 140 kg werkzame N ha⁻¹ en de P-gift 30 kg P₂O₅ ha⁻¹.

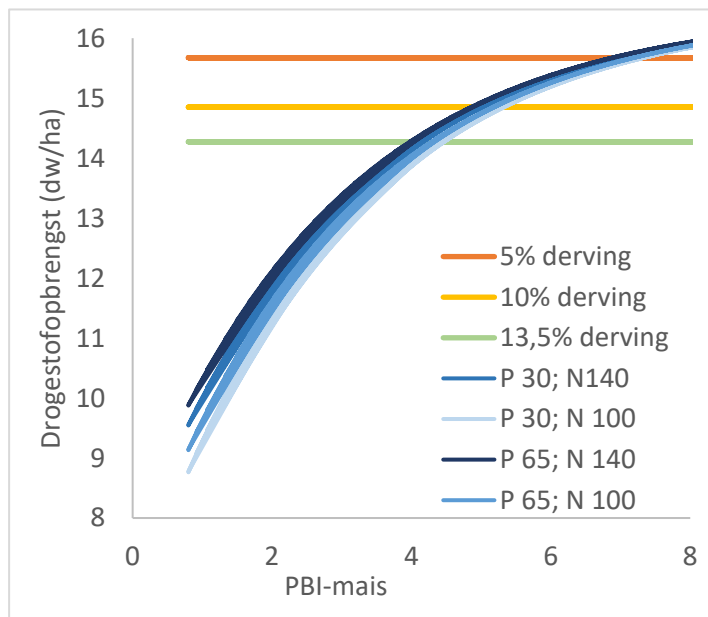
3.3 Streefwaarde voor maïs

De P-streefwaarde wordt gedefinieerd als het P-gehalte van een bodem die ervoor zorgt dat per eenheid wortels, P-aanbod vanuit de bodem voldoet aan de P-behoefte van het gewas gedurende het groeiseizoen (Van Noordwijk et al., 1990). De P-streefwaarde zal verschillen per gewastype en mogelijk kunnen ook de parameters die van invloed zijn op de potentiële opbrengst (N-bemesting, vochtigheid en temperatuur) de P-streefwaarde beïnvloeden. In principe is de streefwaarde gebaseerd op een situatie zonder P-gift. In de praktijk wordt echter altijd een P-gift gegeven met dierlijke mest en wanneer een bepaalde streeftoestand is bereikt is het de bedoeling deze te behouden door de P-gift gelijk te stellen aan de onttrekking (en eventuele verliezen).

Wanneer de P-streefwaarde voor maïs wordt gebaseerd op een opbrengstderving van slechts 5% van 16,5 ton ha⁻¹ zonder P-gift (figuur 3), dan varieert de P-beschikbaarheidsindex (PBI) rond 7,1. Deze PBI is relatief hoog en wordt vooral bepaald door P-CaCl₂ en in veel mindere mate door de BC.

Een realistischere P-streefwaarde voor de P-toestand wordt verkregen wanneer wordt gekozen voor een opbrengstderving van 13% welke overeenkomt met een gemiddelde opbrengst van 14,3 ton ds ha⁻¹ zoals gevonden in de veldproef en ongeveer overeenkomt met het gemiddelde in Nederland. Met een gemiddelde N-gift van 140 kg effectieve N ha⁻¹ lijkt een opbrengst van 14,3 ton ds ha⁻¹ te kunnen worden bereikt bij een P-streefwaarde die varieert tussen PBI 3,9 met P-bemesting van 65 kg ha⁻¹ (P-bemesting = P-onttrekking) en PBI 4,4 bij een lagere bemesting, Figuur 10). Bij deze PBI is zowel P-CaCl₂ als de buffering belangrijk. Een PBI van 3,9 komt overeen met een range in P-CaCl₂ die varieert tussen 1,9 en 3,8 mg kg⁻¹ in combinatie met een P-AL van respectievelijk 76 en 8 mg P₂O₅ 100g⁻¹.

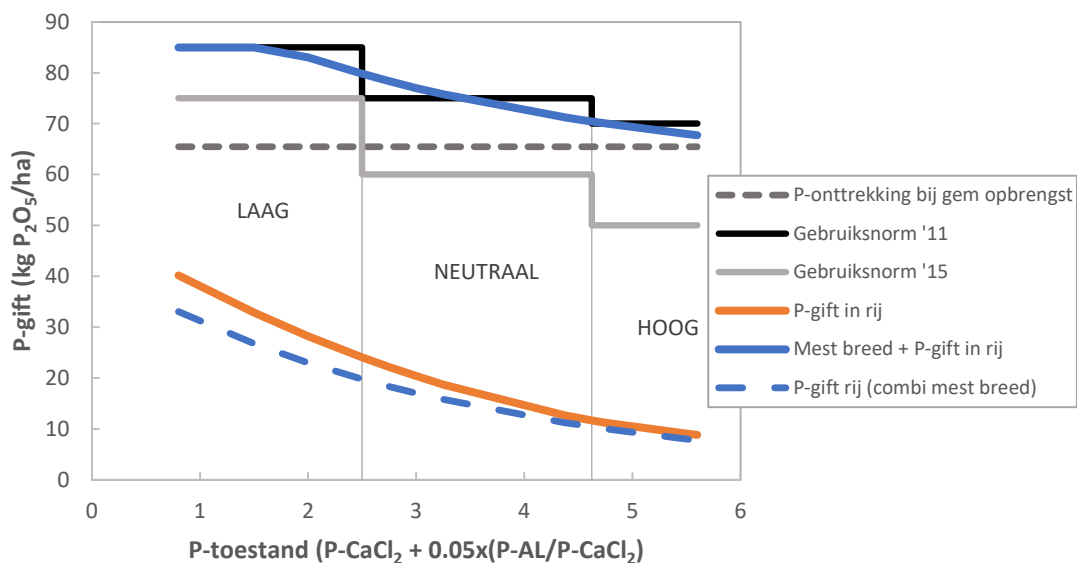
Vanuit milieuoogpunt is het wenselijk dat P-CaCl₂ in het lage deel van dit bereik blijft omdat P-CaCl₂ een intensiteitsparameter is en vergelijkbaar met andere intensiteitsparameters gerelateerd blijkt te zijn aan P-concentratie in water dat uitspoelt naar aangrenzend oppervlakte- en grondwater (Maguire en Sims, 2002; McDowell en Sharpley, 2001; Turner et al., 2004).



Figuur 10. Relatie tussen berekende drogestofopbrengst van maïs en P-toestand gedefinieerd als $P-CaCl_2 = 0,05 \times \text{ratio } P-AL \text{ over } P-CaCl_2$ voor verschillende realistische N en P giften waarbij de N-gift is uitgedrukt in kg werkzame N ha⁻¹ en de P-gift in kg P₂O₅ ha⁻¹

3.4 P-streefwaarde voor maïs in perspectief

De P-streefwaarde kan in perspectief worden gezien van de gebruiksnormen, P-bemestingsadvies en P-onttrekking (samengevat in Figuur 11). De in 2011 ontwikkelde bemestingsadviezen (Bussink et al., 2011a) bevat een gewas gericht advies van (minerale) P-meststoffen die in de rij worden geplaatst (oranje lijn in Figuur 11) en een bodemgericht advies waarin de plaatsingsruimte op basis van de gebruiksnorm wordt opgevuld met P uit organische mest die breedwerpig wordt toegediend (blauwe lijn in Figuur 11). Het bodem gerichte advies dat in 2011 op deze manier is ontwikkeld moet op basis van de huidige gebruiksnormen worden verlaagd. Opvallend is dat bij een fosfaatonttrekking gebaseerd op de gemiddelde drogestofopbrengst van 14,3 ton ha⁻¹ (65 kg P₂O₅ ha⁻¹) bij een neutrale P-toestand van de bodem de gebruiksnorm lager is dan de onttrekking.



Figuur 11. Relatie tussen het P-bemestingsadvies en de P-status van de bodem zoals afgeleid door Bussink et al. (2011a). Het advies bevat een gewas gericht advies (oranje lijn) en een gewas gericht advies in combinatie met een bodem gericht advies (blauwe lijnen). Daarnaast wordt de gemiddelde en

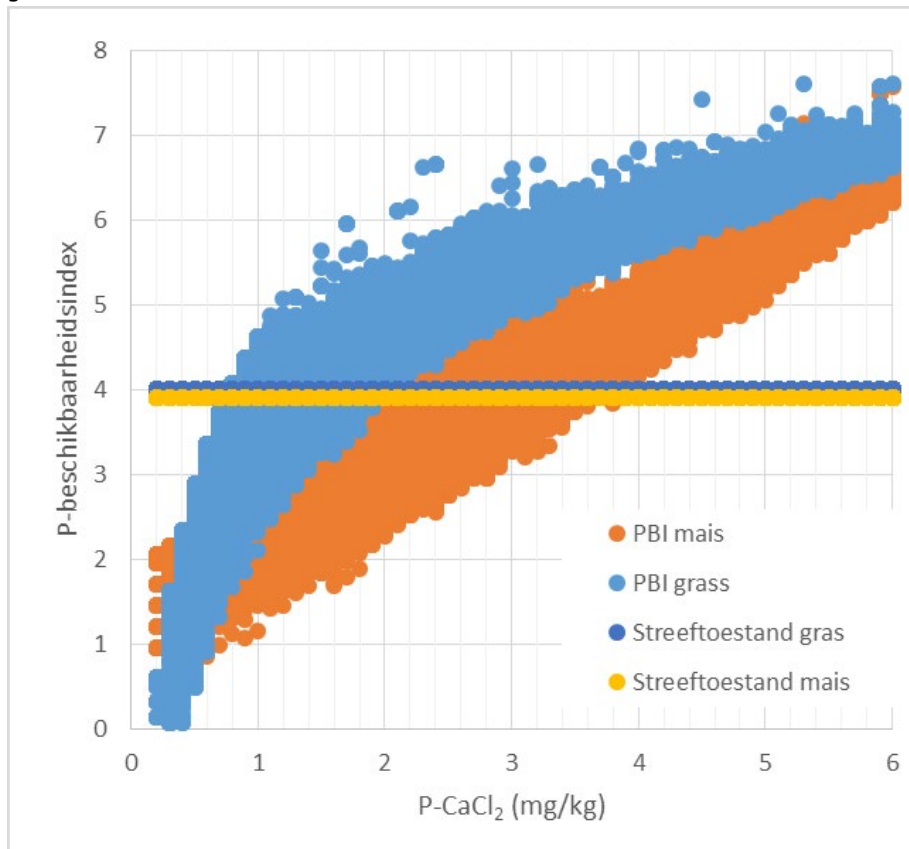
potentiële P-onttrekking door mais en de P-gebruiksnormen uit 2011 en 2015 getoond. De gebruiksnormen zijn afhankelijk van classificatie van de P status van de bodem (klasse laag, neutraal en hoog).

4 Vergelijking streeftoestand gras en maïs

4.1 Algemeen

Voor zowel gras als maïs kan een simpele response curve worden afgeleid op basis van een P-beschikbaarheidsindex waarin P-CaCl₂ en de ratio P-AL over P-CaCl₂ worden geïntegreerd. Voor gras is echter PBI gebaseerd op de natuurlijke logaritme van P-CaCl₂ terwijl in de PBI voor maïs zowel P-CaCl₂ als de ratio er lineair inzitten. Dit is het gevolg van hoe deze parameters zijn verwerkt in de dervingsfactor in de modellen die door Bussink et al. (2011b) voor gras en maïs zijn afgeleid. In beide gevallen moet de PBI de ratio P-AL over P-CaCl₂ worden begrensd in het lage P-CaCl₂ bereik. Voor maïs is afgeleid dat de streeftoestand voor P in de bodem overeen komt met een PBI_{maïs} van 3,9 om een opbrengst van 14,3 ton ds/ha te kunnen waarborgen. Bij een PBI_{maïs} van 3,9 varieert P-CaCl₂ tussen 1,9 en 3,8 mg kg⁻¹ in combinatie met een P-AL van respectievelijk 76 en 8 mg P₂O₅ 100g⁻¹. Voor gras is afgeleid dat de streeftoestand voor P in de bodem overeen komt met een PBI van 4 om een P-gehalte in de eerste grassnede van 3,7 mg/kg te kunnen waarborgen. Bij een PBI_{gras} van 4 varieert P-CaCl₂ tussen 1,25 en 2,1 mg/kg, bij een P-AL van respectievelijk 50 en 8.

De PBI-streefwaarde voor gras en maïs worden in Figuur 12 vergeleken met wat dit betekent voor het streefbereik in P-CaCl₂. Ondanks dat de afgeleide streefwaarde voor de PBI voor gras en maïs zeer vergelijkbaar is (4 versus 3,9) ligt het streefbereik voor P-CaCl₂ (en P-AL) lager bij gras dan bij maïs. Dit is gevolg van de verschillende vergelijkingen die ten grondslag liggen aan het berekenen van de PBI voor gras en maïs.



Figuur 12. Vergelijking tussen de P-beschikbaarheidsindex voor gras en maïs ten opzichte van P-CaCl₂. Daarnaast is de data van Eurofins Agro getoond voor bodemonsters voor grasland uit 2010 en 2011.

Het lagere streefbereik in P-CaCl₂ voor gras dan voor maïs kan gedeeltelijk worden verklaard omdat gras een veel grotere worteldichtheid heeft in de bemonsterde laag (0-10 cm-mv) dan maïs (0-25cm-mv). Het fijne en dichte wortelstelsel voor gras zorgt voor een betere benutting van het aanwezige P in de bodem. Daarnaast is het model voor gras alleen ontwikkeld voor de eerste snede terwijl het model voor maïs betrekking heeft op een heel groeiseizoen.

4.2 PBI versus P-CaCl₂ en P-AL

Eerder hebben we afgeleid dat de streefwaarde voor PBI ongeveer 4 bedraagt voor gras en maïs op basis van de proeven die een aantal jaren geleden zijn uitgevoerd. In tabel 4 en 5 is weergegeven hoe PBI gerelateerd is aan P-CaCl₂ en P-AL voor een voorbeeld waarbij de PBI is ingedeeld in de categorieën arm (PBI < 1,5, donkergroen), laag (PBI 1,5-2,5, lichtgroen), optimaal streeftraject (PBI 2,5 – 4, geel), suboptimaal streeftraject (PBI 4 – 4,8, oranje) en hoog (PBI > 4,8, rood). Te zien is dat er een brede range is in combinaties van P-CaCl₂ en P-AL binnen een PBI klasse.

Tabel 4. De relatie tussen PBI en P-CaCl₂ en P-AL voor grasland.

P-CaCl ₂ \P-AL	8	10	13	16	20	25	30	35	42	50	60	70
0,3	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,6	0,9	1,3	1,7
0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4	1,7	1,9	2,2	2,6
0,7	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1
0,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,1	3,3	3,6
1,1	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,4	3,7	3,9
1,4	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,9	4,1	4,3
1,7	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,7
2,1	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,3	4,4	4,4	4,6	4,7	4,9	5,0
2,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,9	5,0	5,2	5,3
3	4,8	4,9	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6
3,5	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9
4	5,5	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1
4,5	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,1	6,2	6,2	6,3
5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5

Tabel 5. De relatie tussen PBI en P-CaCl₂ en P-AL voor maïsland.

P-CaCl ₂ \P-AL	8	10	13	16	20	25	30	35	42	50	60	70
0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5
0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3	2,6
0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,2	2,5	2,7
0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,9
1,1	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,5	2,7	3,0
1,4	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2
1,7	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,2	3,4
2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7
2,5	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9
3	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3
3,5	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,9	4,0	4,0	4,2	4,3	4,4	4,6
4	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9
4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,2
5	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,6

Mais heeft daarbij andere P-CaCl₂ en P-AL waarden dan gras bij eenzelfde PBI. Er zijn hogere P-CaCl₂ en P-AL waarden nodig om eenzelfde PBI te realiseren.

Op dit moment is de bemestingsadviesing in de bemestingsadviesbasis vooral gewas georiënteerd en is er beperkte info over de na te streven fosfaattoestand. Voorheen was die er wel en was de waardering verschillend per grondsoort. Het geel gearceerde in tabel 4 en 5 kan een maat zijn voor de streefstoestand voor fosfaat op basis van twee kengetallen.

De discussie speelt hoe de fosfaattoestand te waarderen ten behoeve van de gebruiksnormen op basis van twee kengetallen. Er zijn voorstellen gedaan hoe deze waardering eruit kan zien door Oenema et al., (2016). Eén van de scenario's is één waarderingstabel voor zowel grasland en bouwland (zie Bijlage 1). Dit leidt tot enige verschillen zoals uit Bijlage 1 blijkt. De insteek bij het CBGV rapport is vooral landbouwkundig. Dit leidt tot een iets andere indeling voor gras dan voor maïs. Gras heeft een veel fijnmaziger wortelstelsel en kan in principe beter overweg met een lagere fosfaatbeschikbaarheid dan maïs. Bij gras liggen de klassegrenzen daarom iets lager dan bij maïs. De toestand ruim voldoende en hoog wordt sneller bereikt bij gras. Verder leidt de gekozen aanpak in onze studie tot een meer continue indeling en overgang van de ene klasse naar de andere klasse. Het meest duidelijk komt dit tot uiting bij bodemkengetallen voor P-CaCl₂ van boven de 3,9 mg/kg die in het CBGV rapport minimaal de waardering hoog krijgen.

De plaatjes in de bijlage spreken verder voor zich. Bij Oenema et al., wordt meer waarde aan P-AL toegekend en in het CBGV rapport aan P-CaCl₂. Gewasproeven bevestigen de sterke(re) respons op P-CaCl₂.

5 Conclusies

Voor zowel gras als maïs zijn in een eerdere studie modellen ontwikkeld waarmee de P-gehalte in de 1^{ste} snede van gras en de drogestofopbrengst voor maïs kunnen worden voorspeld. In deze modellen kan de fosfaattoestand van de bodem worden gekarakteriseerd door een P-beschikbaarheidsindex (PBI) waarin de parameters P- CaCl_2 en de ratio P-AL over P- CaCl_2 worden geïntegreerd. De PBI geeft voor zowel gras als maïs een standaard respons curve met respectievelijk P-gehalte en drogestofopbrengst.

De PBI is gebruikt om een streefwaarde voor de fosfaattoestand van de bodem te bepalen. Voor gras is afgeleid dat de streeftoestand voor P in de bodem overeen komt met een PBI van 4 om een P-gehalte in de eerste grassnede van 3,7 mg/kg te kunnen waarborgen. Bij een PBI_{gras} van 4 varieert P- CaCl_2 tussen 1,25 en 2,1 mg/kg, bij een P-AL van respectievelijk 50 en 8. De streefwaarde voor PBI varieert met de andere bodem- en bemestingsparameters (werkzame N-gift, P-gift, pH en K- CaCl_2) die samen het P-gehalte in de eerste snede bepalen. Bij optimale giften en bodemkenmerken varieert de streefwaarde voor PBI tussen 2,5 en 4. Dit komt in de praktijk neer op een range in de combinatie P- CaCl_2 en P-AL dat zeer goed overeenkomt met de landbouwkundige klassen "voldoende". De classificatie van de fosfaattoestand van de grond op basis het streeftraject voor de eerste grassnede komt heel goed overeen met de landbouwkundige classificatie op basis van de combinatie P-AL en P- CaCl_2 .

Voor maïs is afgeleid dat de streeftoestand voor P in de bodem overeen komt met een $\text{PBI}_{\text{maïs}}$ van 3,9 om een opbrengst van 14,3 ton ds ha^{-1} te kunnen waarborgen. Bij een $\text{PBI}_{\text{maïs}}$ van 3,9 varieert P- CaCl_2 tussen 1,9 en 3,8 mg kg^{-1} in combinatie met een P-AL van respectievelijk 76 en 8 $\text{mg P}_2\text{O}_5 100\text{g}^{-1}$. De streefwaarde voor PBI varieert met de andere bemestingsparameters (werkzame N-gift en P-gift) die samen de drogestofopbrengst bepalen. Binnen de range aan gangbare giften is de variatie in streefwaarde voor PBI slechts gering. De P-streefwaarde van 3,9 valt binnen de marges van de gebruiksnorm waarderingsklasse 'neutraal'. Mogelijk toekomstig knelpunt is dat de huidige gebruiksnormen binnen deze waarderingsklasse lager is dan de gemiddelde P-onttrekking van ruim 14 ton ds per ha waardoor op de lange termijn de streeftoestand mogelijk niet zal worden gehandhaafd en de P-toestand van de bodem zakt.

De streefwaarden voor de PBI van de bodem zijn vergelijkbaar voor gras en maïs. De formule die ten grondslag ligt aan de berekening van PBI verschilt echter tussen gras en maïs. In de praktijk is de fosfaattoestand uitgedrukt als de combinatie P- CaCl_2 en P-AL die nodig is om een gewasopbrengst voor maïs van 14,3 ton ds ha^{-1} te waarborgen hoger dan de fosfaattoestand die nodig is om een P-gehalte in de eerste grassnede van 3,7 mg kg^{-1} te waarborgen.

Het waarderen van gronden op basis van één kengetal PBI is mogelijk, waardoor het vergelijken van percelen eenvoudiger wordt. Je ziet in één oog opslag wat de waardering is. Daarentegen maakt het waarderen van gronden op basis van twee kengetallen inzichtelijk waarin percelen van elkaar verschillen. Beschikken percelen bijvoorbeeld over een hoge buffercapaciteit door hoge P-reserves in de bodem of een hoge direct beschikbaarheid.

6 Referenties

- Bussink DW, Bakker RF, Van den Draai & Temminghoff EJM, 2011a. Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 1 maisland. Nutrient Management Institute report 1246.1.
- Bussink DW, Bakker RF, Van den Draai H & Temminghoff EJM, 2011b. Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 2 grasland. Nutrient Management Institute rapport 1246.2.
- Maguire RO and Sims JT, 2002. Soil testing to predict phosphorus leaching. pp 1601-1609.
- McDowell R, Sharples A, Brookes P and Poulton P, 2001. Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution. Soil Science 166, 137-149.
- Mead R & Curnow RN, 1983. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. Chapman and Hall, London, New York.
- Oenema O, Mol JP, Voogd JCH, Ehlert PAI & Velthof GL (2016) Klasseindelingen voor de fosfaattoestand van de bodem, ten behoeve van de afleiding van fosfaatgebruiksnormen. Alterra Wageningen UR rapport 2743 - 39 p.
- Turner B L, Kay M A and Westermann DT, 2004. Phosphorus in surface runoff from calcareous arable soils of the semiarid Western United States. Journal of Environmental Quality 33, 1814-1821.
- Van Rotterdam- Los, AMD, 2010. The potential of soils to supply phosphorus and potassium, processes and predictions, Wageningen University, Wageningen, 144.

Bijlage 1. Waardering op basis P-CaCl2 en PAL: vergelijking rapport CBGV en Oenema et al. (2016)

G02P-AL	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	27	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72		
0.3	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3		
0.4	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7		
0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	
0.6	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	
0.7	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	
0.8	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	
0.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	
1.0	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	
1.1	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	
1.2	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	
1.3	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	
1.4	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	
1.5	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	
1.6	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	
1.7	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	
1.8	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	
1.9	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	
2.0	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2
2.1	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	
2.2	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	
2.3	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	
2.4	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	
2.5	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	
2.6	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	
2.7	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	
2.8	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	
2.9	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	
3.0	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	
3.1	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	
3.2	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	
3.3	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	
3.4	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	
3.5	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	
3.6	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	
3.7	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	
3.8	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	
3.9	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	
4.0	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	
4.1	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	
4.2	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	
4.3	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	
4.4	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5																

Grasland: Klassenindeling op basis PBI_{gras}

landbouwkundige waardering

laag	<1,5
voldoende	1,5 - 2,1
ruim voldoende	2,1 - 4
hoog	2,1 - 4,5
zeer hoog	>4,5

$$\begin{aligned} \text{PBI}_{\text{gras}} &= 2 + 2,5 \cdot \text{LN}(\text{P-CaCl}_2) + 0,036 \cdot (\text{P-AL} / \text{P-CaCl}_2) \\ &= \text{LN}(\text{P-CaCl}_2) \cdot (-0,0114 \cdot \text{PAL} + 2,5) + 0,0251 \cdot \text{P-AL} + 2 \end{aligned}$$

Volgens toepassing grenzen Oenema

	<16	16-27	27-50	>50
<0,8	arm	arm	laag	neutraal
0,8-1,4	laag	laag	neutraal	neutraal
1,4-3,1	neutraal	neutraal	neutraal	hoog
>3,1	hoog	hoog	hoog	z.hoog
	40-60	>60		
3-4	zeer hoog	zeer hoog		
>4	zeer hoog	zeer hoog		

P-COPIAL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.3	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
0.4	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0.6	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
0.7	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
0.8	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
0.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Klassenindeling Oenema et al., 2016 voor **gras en bouwland**, beoogd voor regelgeving

	P-Al (mg P2O5/100g)			
P-CaCl2 (mg/kg)	<16	16-27	27-50	>50
<0,8	arm	arm	laag	neutraal
0,8-1,4	arm	laag	neutraal	neutraal
1,4-3,1	laag	neutraal	neutraal	hoog
>3,1	neutraal	neutraal	hoog	hoog

	40-60	>60
3-4	hoog	zeer hoog
>4	zeer hoog	zeer hoog

Klassenindeling op basis $PBI_{maïs}$

landbouwkundige waardering

laag	<1,5
voldoende	1,5 - 2,5
Ruim voldoende	2,5 - 4,8
hoog	4,8 - 5,8
zeer hoog	>5,8

$$\begin{aligned} \text{PBI}_{\text{mais}} &= \text{P-CaCl}_2 + 0,05 * (\text{P-AL} / \text{P-CaCl}_2) \\ &= \text{P-CaCl}_2 * (-0,0049 * \text{P-AL} + 1) + 0,0327 * \text{P-AL} \end{aligned}$$

Volgens toepassing grenzen Oenema

	<16	16-27	27-50	>50
<0,8	arm	arm	laag	neutraal
0,8-1,4	arm	laag	neutraal	neutraal
1,4-3,1	laag	neutraal	neutraal	neutraal
>3,1	neutraal	neutraal	hoog	hoog
	40-60	>60		
3-4	zeer hoog	zeer hoog		
>4	zeer hoog	zeer hoog		

In de landbouwkundige waarderingssystematiek werd van oudsher gesproken over 5 klassen:

- Laag
- Voldoende
- Ruim voldoende
- Hoog
- Zeer hoog

Bij het gebruiksnormen stelstel kent men op dit moment 3-4 klassen

- (Arm)
- Laag
- Neutraal
- Hoog
- (Zeer hoog)

In het gebruiksnormenstelsel is de klasse arm een bijzondere klasse. Bij de klasse arm mag een reparatiebemesting worden uitgevoerd waarbij gedurende vier jaren maximaal 120 kg P₂O₅ per hectare mag worden gebruikt, mits aangetoond wordt dat de fosfaattoestand van de grond voor grasland op basis van P-AL lager is dan 16 en voor bouwland op basis van P_w lager dan 25.

De klasse zeer hoog is door Oenema et al. (2016) toegevoegd in de door hun uitgevoerde studie