



Maatregelen voor klimaatadaptatie in de melkveehouderij

Een literatuuronderzoek naar klimaatrisico's en mogelijkheden voor klimaatadaptatie van melkveebedrijven in de Achterhoek

Marion de Vries, Idse Hoving, Ingrid van Dixhoorn, Dionne Ruijter, Ronald Zom

Rapport 1442



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Maatregelen voor klimaatadaptatie in de melkveehouderij

Een literatuuronderzoek naar klimaatrisico's en mogelijkheden voor klimaatadaptatie van melkveebedrijven in de Achterhoek

Marion de Vries¹, Idse Hoving¹, Ingrid van Dixhoorn¹, Dionne Ruijter¹, Ronald Zom¹

¹ Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van de Publiek Private Samenwerking 'Op weg naar een Klimaatbestendige Melkveehouderij in de Achterhoek' (projectnummer LWV20.363) en mede gefinancierd door partners Royal FrieslandCampina, Provincie Gelderland, Waterbedrijf Vitens, Waterschap Rijn en IJssel, ForFarmers en Vruchtbare Kringloop Achterhoek.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, september 2023

Rapport 1442

De Vries, M., I.E. Hoving, I. van Dixhoorn, D. Ruijter, R. Zom, 2023. *Maatregelen voor klimaatadaptatie in de melkveehouderij. Een literatuuronderzoek naar klimaatrisico's en mogelijkheden voor klimaatadaptatie van melkveebedrijven in de Achterhoek*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1442.

Door klimaatverandering heeft de Nederlandse melkveehouderij in toenemende mate te maken met hogere temperaturen en een langer groeiseizoen, en komen weersextremen zoals langdurige droogte, hitte en extreme neerslag vaker voor. Ook stijgen kooldioxide- en ozonconcentraties in de atmosfeer. In het kader van het project Klimaatbestendige Melkveehouderij in de Achterhoek (KLIMEA) zijn voor de melkveehouderij in de Achterhoek de potentiële gevolgen van klimaatverandering en maatregelen voor klimaatadaptatie in kaart gebracht door middel van een literatuurstudie. In nationale en internationale literatuur zijn ruim 50 potentiële adaptatiemaatregelen gevonden, gerelateerd aan water- en bodembeheer, gewasteelt, rantsoen, weidegang, ruwvoermanagement, diermanagement en huisvesting. Door lokale stakeholders is beschouwd in hoeverre de gevonden maatregelen zinvol en toepasbaar zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek.

Climate change will increasingly affect dairy farming in the Netherlands, due to changes in precipitation patterns with longer periods of precipitation deficits and surpluses, higher air temperature, lengthening of the growing season, more frequent extreme weather events, and higher atmospheric carbon dioxide and ozone concentration. A literature review was conducted to identify potential impacts of climate change on Dutch dairy farms and potential climate adaptation measures. More than 50 potential adaptation measures were identified related to water and soil management, crop production, pasture and grazing management, fodder conservation, feeding and nutrition, housing and animal management. Local stakeholders considered the extent to which the identified measures are effective and applicable to dairy farms in the region 'the Achterhoek' in the Netherlands.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/634704> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1442

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Doel	12
1.2 Leeswijzer	12
2 Aanpak	13
2.1 Literatuurstudie	13
2.2 Beschouwing toepasbaarheid	13
3 Gevolgen van klimaatverandering	14
3.1 Klimaatscenario's voor Nederland	14
3.2 Gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij	15
3.2.1 Waterbeschikbaarheid	16
3.2.2 Bodem	18
3.2.3 Gras- en gewasproductie	18
3.2.4 Diergezondheid en dierenwelzijn	22
3.2.5 Economie	24
3.2.6 Milieu	24
3.3 Verschillen tussen bedrijven	26
4 Aanpassen aan klimaatverandering	27
4.1 Waterbeheer	27
4.2 Bodem	31
4.3 Gras en weidegang	34
4.4 Teeltmaatregelen	35
4.5 Gewaskeuze	37
4.6 Ruwvoermanagement en rantsoen	40
4.7 Diermanagement en huisvesting	42
5 Beschouwing toepasbaarheid maatregelen	50
6 Adaptatiemaatregelen in internationale literatuur	53
7 Discussie & conclusie	61
8 Literatuur	64
Bijlage 1 Stakeholder scores adaptatiemaatregelen	69
Bijlage 2 Aanvullende adaptatiemaatregelen geïnventariseerd in Kennisgroep KLIMEA	72



Woord vooraf

In recente jaren is duidelijk geworden dat klimaatverandering niet meer iets is van de toekomst of voor landen ver van ons vandaan. De aanhoudende droogte en hitte in recente jaren hebben ervoor gezorgd dat ook voor Nederlandse melkveehouders de noodzaak tot aanpassen aan klimaatverandering hoger op de agenda is gekomen. Volgens klimaatscenario's zullen weersextremen in de komende decennia nog vaker en heviger voorkomen, en zal de noodzaak tot aanpassing van de bedrijfsvoering verder toenemen. Onze huidige kennis over effecten van klimaatverandering en adaptatiemogelijkheden voor de Nederlandse melkveehouderij is echter nog relatief beperkt. In het voorliggende rapport zijn daarom gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij verkend en op basis van Nederlandse en internationale literatuur kennis een groot aantal mogelijke adaptatiemaatregelen op een rij gezet. De resultaten geven de melkveehouderij op droogtegevoelige (zand)gronden, zoals in de regio De Achterhoek maar ook daarbuiten, handvatten bij het kiezen van passende maatregelen, om nadelige gevolgen van droogte en hitte te beperken en waar mogelijk kansen te benutten.

Dit rapport is tot stand gekomen als onderdeel van de Publiek Private Samenwerking 'Op weg naar een Klimaatbestendige Melkveehouderij in de Achterhoek' (KLIMEA), een samenwerking tussen het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Royal FrieslandCampina, Provincie Gelderland, Waterbedrijf Vitens, Waterschap Rijn en IJssel, ForFarmers en Vruchtbare Kringloop Achterhoek. We danken publieke en private partners van het project KLIMEA voor hun ondersteuning voor het werk in dit rapport. Met dit rapport verwachten we een basis te leggen voor het gezamenlijk werken aan een klimaatbestendiger melkveehouderij in de Achterhoek.

Dr. ir. Gert van Duinkerken
Business Unit Manager Wageningen Livestock Research



Samenvatting

Door klimaatverandering heeft de Nederlandse melkveehouderij in toenemende mate te maken met hogere temperaturen en een langer groeiseizoen, hogere kooldioxide- en ozonconcentraties, en zullen weersextremen zoals langdurige droogte, hitte en extreme neerslag vaker voorkomen. In het kader van het project Klimaatbestendige Melkveehouderij in de Achterhoek (KLIMEA) is een literatuurstudie verricht om potentiële gevolgen van klimaatverandering en maatregelen voor klimaatadaptatie in kaart te brengen voor de melkveehouderij in de Achterhoek, met de nadruk op gevolgen van droogte en hitte. Door melkveehouders en afgevaardigden van partners in het KLIMEA project is vervolgens beschouwd in hoeverre de gevonden maatregelen zinvol en toepasbaar zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek.

Potentiële gevolgen van klimaatverandering

Inzicht in de potentiële gevolgen van klimaatverandering is van belang om zich gericht aan te passen aan klimaatverandering. Tabel S1 toont de potentiële gevolgen van klimaatverandering voor melkveebedrijven in de Achterhoek ten aanzien van gras- en maïsproductie, melkproductie, diergezondheid en -welzijn, economie en milieu.

Tabel S1 *Potentiële gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij in de Achterhoek.*

Categorie	Potentiële gevolgen
Grasproductie	<ul style="list-style-type: none">- Toename in grasopbrengst door hogere temperaturen, een langer groeiseizoen (met in potentie meer weidedagen) en een hogere CO₂ concentratie- Derving in grasopbrengst door langdurige droogte, hitte en een hogere ozonconcentratie (welke voorgenoemde meeropbrengsten kunnen verminderen of teniet doen)- Grotere variatie in grasopbrengsten (welke de gemiddelde verandering over decennia overstijgt)- Daling in voederwaarde van gras door langdurige droogte en hitte, en een hogere ozonconcentratie- Schade aan de graszode en verslechtering van de botanische samenstelling door weersextremen- Meer onbalans in de nutriëntenvoorziening door grotere variaties in grasgroei
Maïsproductie	<ul style="list-style-type: none">- Toename in maïsoopbrengsten door hogere temperaturen- Opbrengstderving en daling in voederwaarde door droogte (afhankelijk van moment van intreden) en ozon- Toename in schimmelziekten, (nieuwe) plaaginsecten, verminderde werking van herbiciden, meer onkruidgroei, nieuwe onkruidsoorten en minder bestuivers door hogere temperaturen en zachtere winters- Vergeleken met gras heeft maïs meer last van vernatting, minder last van droogte en minder baat bij een hogere CO₂ concentratie
Melkproductie, diergezondheid en -welzijn	<ul style="list-style-type: none">- Toename in hittestress bij melkvee door hogere temperaturen, luchtvochtigheid en zonnestraling, en lagere windsnelheden- Daling in melkproductie en gehalten, lagere voeropname, toename in gezondheidsproblemen, verminderde vruchtbaarheid en aangepast gedrag door hittestress en/of rantsoenveranderingen- Veranderingen in infectiedruk van ziekteverwekkers (bacteriën, virussen en parasieten)- Meer kans op broei in kuilen en voer aan voerhek
Bedrijfsvoering en economie	<ul style="list-style-type: none">- Minder gelegenheid voor berijden en bewerking bij droogte, hitte of extreme neerslag- Potentiële verandering in het aantal weidedagen:<ul style="list-style-type: none">o toename door een langer groeiseizoeno afname door stilvallen van de grasgroei bij droogte, opstallen i.v.m. hittestress, of beperkte draagkracht en vertrappen van de graszode bij extreme neerslag- Prijsstijgingen en schaarste van aangevoerde grondstoffen (m.n. veevoer) a.g.v. lagere opbrengsten door klimaatverandering lokaal en elders in de wereld- Hogere melkprijzen bij schaarste in de Europese markt a.g.v. klimaatverandering- Sommige studies verwachten een netto positief effect op economisch bedrijfsresultaat, maar dit is niet eenduidig en afhankelijk van diverse factoren
Milieu	<ul style="list-style-type: none">- Toename in nutriëntenverliezen bij droogte, hitte of extreme neerslag wegens opbrengstdervingen, mindere ontwikkeling van vanggewas, noodzakelijk herstel van de graszode vanwege nat- of droogteschade, slechtere benutting van N in organische mest en minder beweiding- Toename in broeikasgasemissies m.n. door lagere gewasopbrengsten en meer voeraankopen- Bij een verandering in het aantal weidedagen door weersextremen of door een langer groeiseizoen kan in potentie de ammoniakemissie toenemen (minder weidedagen) of afnemen (meer weidedagen).

Er is een bepaalde mate van onzekerheid in de verwachte effecten van klimaatverandering op melkveebedrijven. Dit wordt veroorzaakt door onzekerheden in de klimaatscenario's, verschillen tussen bedrijven (locatie en management) en de ontwikkeling van andere externe factoren die ook een effect hebben op bedrijven, zoals beleid en markt. Ook de mate waarin adaptatiemaatregelen al toegepast worden op bedrijven speelt naar verwachting een rol. Praktijkobservaties in de periode 2018-2020 laten zien dat de perioden van langdurige droogte en hitte grote invloed hadden op gewasopbrengsten en nutriëntenoverschotten, en dat er grote verschillen waren tussen bedrijven en regio's. Het gemiddelde melkproductieniveau en economisch bedrijfsresultaat leek niet lager te liggen dan in voorgaande jaren.

Adaptatiemaatregelen voor de melkveehouderij

In de literatuur zijn ruim 50 maatregelen gevonden waarmee nadelige gevolgen van klimaatverandering voor ruwvoerproductie (Tabel S2) en diergezondheid en -welzijn (Tabel S3) mogelijk kunnen worden beperkt. De maatregelen hebben betrekking op water- en bodembeheer, gras en weidegang, teeltmanagement, gewaskeuze, ruwvoermanagement, rantsoen, diermanagement en huisvesting.

Tabel S2 *Potentiële maatregelen om nadelige gevolgen van langdurige droogte en hitte voor ruwvoerproductie te verminderen.*

Water	Bodem	Gras en weidegang	Teeltmaatregelen en gewaskeuze
Egaliseren of bol leggen van percelen	Bodemverdichting en structuurbederf voorkomen	Grasgroei monitoren	Groenbemester/vanggewas tijdig vernietigen
'Boeren' stuwen	Storende lagen opheffen	Tijdig uitscharen/opstallen bij lage grasgroei	Aanpassen teelttechniek
Ondiepe nauwere drainage	Bodemstructuur verbeteren	Voldoende stoppellengte aanhouden	Toepassen vanggewassen, onderzaai, strokenteelt
Regelbare drainage	Compactie bouwvoor vergroten	Gebruik van droogteresistente grassen en kruiden	Gewasdiversificatie en -rotatie
Dynamisch slootpeilbeheer	Bodemchemie op peil houden	Geen zodenbemesting in droge grond	Adequate gewasbescherming
Beregening	Organische stof opbouwen en behouden	Drijfmest vroeg uitrijden	Adequate bemesting
Sub-irrigatie met (regelbare) drainage			Andere voedergewassen telen, met
Extra wateraanvoer			- efficiënter watergebruik,
'Boeren'-berging			- grotere droogresistentie, - vroegere lentegroei, of - langer doorgroeien najaar

Tabel S3 *Potentiële maatregelen om nadelige gevolgen van hitte voor melkvee te verminderen.*

Rantsoen	Weide	Stal	Diermanagement
Broei in kuilvoer voorkomen	Vee opstallen	Dak isoleren	Activiteiten aanpassen
Voertijdstippen aanpassen	Beweidingsregime aanpassen	Dak besproeien	Stalbezetting verlagen
Vaker voermengsels bereiden en aanbieden	Schaduwvoorziening in de wei	Dak of stalsysteem aanpassen	Fokken op hiteresistentie / ziekte tolerantie
Vergroten energiedichtheid rantsoen / vetten toevoegen		Gevels verwijderen	Reproductie/inseminatie aanpassen
Voedingssupplementen verstrekken		Ventileren	Schoonhouden koeien en omgeving
Pensbuffer verstrekken		Koelen (ligbedden/loopvloer/lucht)	Insecten en ongedierte bestrijden
Adequate waterversprekking		Vernevelen	
Adequate biestverstrekking		Koeien natmaken	
Samenstelling rantsoen droge koeien aanpassen		Schaduw rond stal	

Toepasbaarheid voor melkveebedrijven in de Achterhoek

Door melkveehouders en afgevaardigden van partners in KLIMEA werd ongeveer een derde van de maatregelen beschouwd als zinvol en toepasbaar voor melkveebedrijven in de Achterhoek. Dit waren vooral maatregelen die gerelateerd zijn aan bodembeheer, weidemanagement en ruwvoerconservering. De zes melkveehouders in het KLIMEA project bleken de meeste adaptatiemaatregelen (78%) al toe te passen op het bedrijf. Maatregelen die nog niet door de melkveehouders werden toegepast maar wel potentieel interessant bevonden betroffen met name technieken om water langer vast te kunnen houden op het bedrijf (bv. sub-irrigatie, regelbare drainage, dynamisch peilbeheer), nieuwe voedergewassen en maatregelen om hittestress te verminderen (beweidingsregimes en stalmaatregelen).

Aanbevelingen

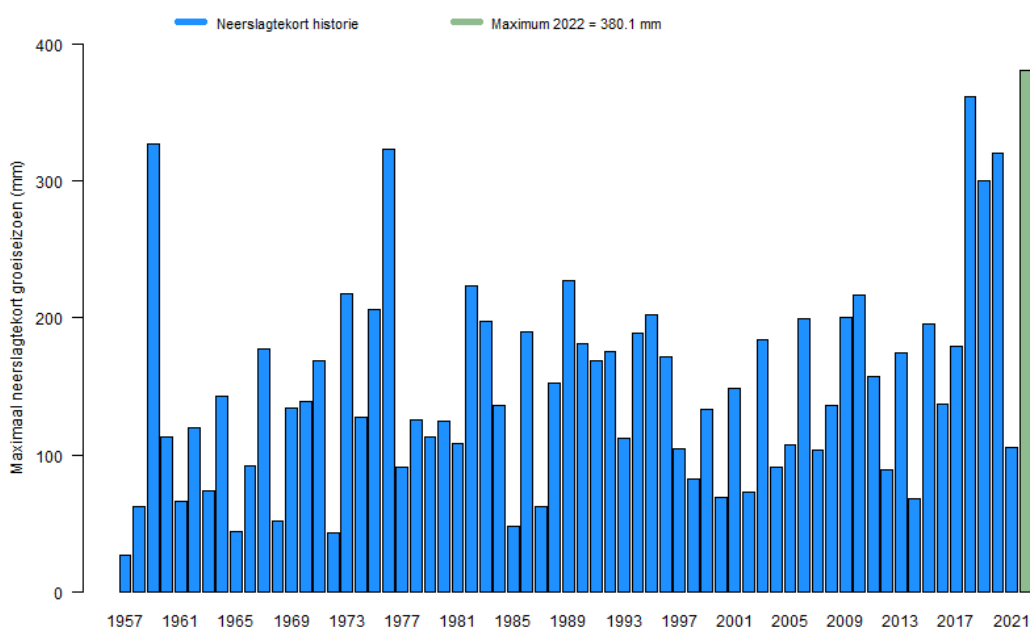
Op basis van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Verder in kaart brengen van klimaatrisico's voor de Nederlandse melkveehouderij o.b.v. de nieuwste klimaatscenario's, met specifieke aandacht voor verschillen in bedrijfslocatie en -management, inclusief risico's op veranderingen in milieuprestaties
- Ontwikkelen van een checklist van goede landbouwpraktijken (GLP) die bijdragen aan klimaatadaptatie
- Verdere verkenning en uitwerking van (de effectiviteit van) geïdentificeerde innovatieve maatregelen
- Modelstudies om effecten van maatregelen voor klimaatadaptatie door te rekenen in scenario-analyses onder toekomstige weersomstandigheden, inclusief verdienmodel en integrale duurzaamheid.



1 Inleiding

Wereldwijd worden de gevolgen van klimaatverandering sneller zichtbaar dan verwacht (IPCC, 2021). Dit geldt ook voor Nederland, waar veranderingen in temperatuur, zonnestraling, neerslag en verdamping steeds duidelijker in beeld komen. Ook in de Nederlandse melkveehouderij worden de gevolgen van klimaatverandering ervaren, met name in de vorm van langdurige droogte en hitte. Zo kwam in de Achterhoek het maximale neerslagtekort in 4 van de afgelopen 5 jaren boven 250 mm, veel vaker dan in de voorgaande decennia (Figuur 1.1). De verwachting is dat langdurige droogte met schadelijke gevolgen voor de landbouw in Europa in 2050 tot eens per twee jaar zal voorkomen wanneer wereldwijde broeikasgasemissies niet sterk worden teruggebracht (PBL, 2015). De kans op extreme hitte in Europa is al tien keer groter dan twee decennia geleden (Christidis *et al.*, 2015). Zelfs in het meest gunstige klimaatscenario geldt dat de mondiale temperatuur, extreme neerslag en droogte, en frequentie en intensiteit van hittegolven verder zullen stijgen (Knutti and Sedláček, 2013).



Figuur 1.1 Maximaal neerslagtekort in het groeiseizoen voor het beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel tussen 1957 en 2022 (bron: waterdata.wrij.nl). In 2018, 2019, 2020 en 2022 steeg het neerslagtekort boven 250 mm.

Klimaatadaptatie

In diverse initiatieven wordt reeds aan klimaatadaptatie van de Nederlandse landbouw gewerkt. In de Nationale Klimaatadaptatie Strategie (NAS) is de koers voor klimaatadaptatie in Nederland uitgezet, waaronder het *Actieprogramma klimaatadaptatie landbouw* waarin staat welke acties ondernomen worden om de landbouwsector voor te bereiden op extreem weer en andere risico's van klimaatverandering (LNV, 2020). Frequentere oogstschade en beschadiging van productiemiddelen in de land- en tuinbouw door extreem weer is bestempeld tot één van de zes meest urgente effecten van klimaatverandering in de NAS (NAS, 2018). In aanvulling daarop bereidt men zich in het nationaal Deltaprogramma voor op watergerelateerde risico's van klimaatverandering (waterveiligheid, zoetwater en ruimtelijke adaptatie). Via het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW) wordt bijgedragen aan wateropgaven in agrarische gebieden en worden agrarische ondernemers ondersteund bij klimaatadaptatie en verduurzaming, en concrete maatregelen voorgesteld (www.agrarischwaterbeheer.nl/).

Tot dusver is onderzoek naar klimaatadaptatie in de Nederlandse landbouw met name gericht geweest op akkerbouw, waardoor de kennis over adaptatiemaatregelen voor de melkveehouderij nog relatief beperkt is.

De melkveehouderijsector onderscheidt zich van akkerbouw vanwege andere gewassen, activiteiten en biologische processen (bv. korte termijn variaties in grasgroei en graskwaliteit, beweiding), en additionele klimaatrisico's rondom het houden van dieren (bv. diergezondheid en -welzijn, rantsoenkwaliteit, voerprijzen). Verder hebben veranderingen in temperatuur en neerslagpatronen, en frequentere en intensere weersextremen niet alleen invloed op technische en economische resultaten, maar ook op milieukundige prestaties van bedrijven.

PPS project KLIMEA

In 2021 is de publiek-private samenwerking (PPS) 'Op weg naar een klimaatbestendige melkveehouderij in de Achterhoek' (KLIMEA) gestart, met als doel het ontwikkelen, delen en demonstreren van kennis en innovaties die nodig zijn voor klimaatbestendige ontwikkeling van melkveebedrijven in de Achterhoek. Als startpunt van dit project is een inventarisatie gemaakt van adaptatiemaatregelen geschikt voor melkveebedrijven in de Achterhoek, op basis van bestaande literatuur. Hierbij is ook aandacht besteed aan internationale literatuur, aangezien toekomstige Nederlandse klimaatomstandigheden naar verwachting meer vergelijkbaar zullen worden met landen die al een warmer en droger klimaat hebben.

1.1 Doel

Het doel van deze studie was om op basis van nationale en internationale literatuur gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij in kaart te brengen en een inventarisatie te maken van klimaatadaptatiemaatregelen die potentieel geschikt zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek.

Vanwege de focus van het project KLIMEA op de melkveehouderij in de Achterhoek is de studie afgebakend naar maatregelen voor de (huidige) belangrijkste klimaatrisico's voor deze regio: droogte en hitte. De Achterhoek is een zeer droogtegevoelige regio vanwege een relatief groot aandeel droge zandgronden en een vrije afwatering van oppervlaktewater. De verwachte toekomstige toename in droogte door klimaatverandering in Nederland geldt vooral voor het binnenland ([KNMI, 2020](#)).

1.2 Leeswijzer

In **Hoofdstuk 2** is de aanpak beschreven t.a.v. afbakening van de literatuurstudie en stakeholder beoordeling van maatregelen voor toepasbaarheid in de Achterhoek. In **Hoofdstuk 3** is beschreven hoe het Nederlandse klimaat naar verwachting zal veranderen, welke klimaatrisico's er zijn voor de Nederlandse melkveehouderij, en welke verschillen in risico's er kunnen zijn tussen bedrijven. **Hoofdstuk 4** geeft een uitgebreide beschrijving van adaptatiemaatregelen voor de Nederlandse melkveehouderij op basis van voornamelijk Nederlandse literatuurbronnen, inclusief een reflectie op de maatregelen door een kennisgroep van melkveehouders in project KLIMEA. **Hoofdstuk 5** beschrijft in hoeverre deze maatregelen zinvol en toepasbaar zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek, aan de hand van een beoordeling door lokale stakeholders. In **Hoofdstuk 6** is beschreven hoe de melkveehouderij in andere landen zich voorbereidt op klimaatverandering volgens internationale literatuur. **Hoofdstuk 7** vormt een korte bespreking van bevindingen en beperkingen t.a.v. de opzet van deze studie.

2 Aanpak

2.1 Literatuurstudie

Een literatuurstudie is uitgevoerd waarin gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij en mogelijke adaptatiemaatregelen zijn geïnventariseerd, gebruikmakende van zowel nationale als internationale literatuur.

Voor de inventarisatie van adaptatiemaatregelen is de volgende afbakening gehanteerd:

- Maatregel op bedrijfsniveau (in tegenstelling tot bedrijfsoverstijgende maatregelen, zoals regionaal waterbeheer, calamiteiten fondsen, of sector-georganiseerde preventie en bestrijding van ziekten en plagen)
- Maatregel heeft betrekking op de melkveehouderijtak (hoofd functie melkproductie), inclusief alle onderdelen binnen het melkveebedrijf, zoals water- en bodembeheer, gras en weidegang, overige gewasteelt, ruwvoermanagement en rantsoen, diermanagement en huisvesting.
- Maatregel is gericht op het verbeteren van de weerbaarheid van het bedrijf tegen extreme droogte en hitte omstandigheden, of gericht op aanpassing aan gemiddeld hogere temperaturen en/of verlenging van het groeiseizoen. Maatregelen voor andere mogelijke gevolgen van klimaatverandering, zoals extreme neerslag of verzilting, zijn niet beschouwd.
- Maatregel is een praktische, incrementele aanpassing van het huidige systeem, welke door de veehouder zelf genomen kan worden (niet-praktische maatregelen en systeemveranderingen zijn dus niet meegenomen, bv. schadeverzekeringen, extensivering of omschakelen naar gemengde bedrijfsvoering).

Gevonden maatregelen zijn onderverdeeld naar waterbeheer, bodem, gras en weidegang, teeltmaatregelen en alternatieve voedergewassen, rantsoen en ruwvoermanagement, en diermanagement en huisvesting. Deze indeling is globaal in lijn met de Pijlers van het nationale Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw (LNV, 2020):

- Watersysteem (droogte, wateroverlast en verzilting tegengaan, waterkwaliteit waarborgen)
- Bodem (verbeteren bodemstructuur en bodemkwaliteit, vergroten waterbergend vermogen; sluit aan op Nationaal Programma Landbouwbodems)
- Gewassen en teeltsystemen (klimaatrobuuste gewassen/teeltsystemen, uitgangsmaterialen, regelgeving beschermingsmaatregelen; sluit aan op Toekomstvisie gewasbescherming 2030)
- Veehouderij (hitte/UV-straling, nieuwe dierziekten, stalsystemen)
- Regionale aanpak (vergroten/verspreiden kennis en innovatie, risicomanagement; bv. brede weersverzekering, spaarmogelijkheden)

2.2 Beschouwing toepasbaarheid

Adaptatiemaatregelen geïnventariseerd in de literatuurstudie zijn door twee groepen stakeholders beoordeeld op hun geschiktheid voor toepassing op melkveebedrijven in de Achterhoek:

- Zes melkveehouders uit de Achterhoek deelnemend in de kennisgroep klimaatadaptatie in het PPS project KLIMEA;
- Afgevaardigden van drie partners in het PPS project KLIMEA: vereniging van melkveehouders Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers (VKA), mengvoerfabrikant ForFarmers, en Provincie Gelderland.

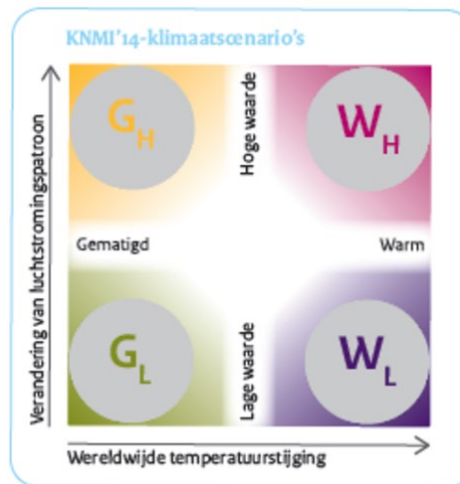
Beoordeling van maatregelen door stakeholders vond plaats in twee stappen: i) schriftelijke beoordeling van maatregelen door KLIMEA partners ("welke maatregelen zijn zinvol voor een bedrijf in de Achterhoek?") en melkveehouders ("Welke maatregelen doe je al? Welke maatregelen zijn wel of niet interessant voor inpassing op jouw bedrijf?"), en ii) bijeenkomsten waarin maatregelen mondeling zijn besproken t.a.v. hun geschiktheid voor inpassing op melkveebedrijven in de Achterhoek (melkveehouders in november 2021 en februari 2022, partners in februari 2022).

3 Gevolgen van klimaatverandering

3.1 Klimaatscenario's voor Nederland

Huidige en verwachte veranderingen in het Nederlandse klimaat staan beschreven in de KNMI'14 klimaatscenario's¹ (KNMI, 2015) en het KNMI Klimaatsignaal '21 (KNMI, 2021). Het KNMI heeft in 2014 vier klimaatscenario's ontwikkeld, welke mogelijke richtingen aangeven waarin het klimaat in Nederland zich in de komende decennia kan ontwikkelen. De hoofdlijn van alle scenario's is dat:

- de gemiddelde temperatuur zal stijgen (zachtere winters, warmere zomers),
- de gemiddelde neerslag zal toenemen (nattere winters),
- de CO₂ concentratie in de lucht zal stijgen, en
- de frequentie en intensiteit van weersextremen zullen toenemen, zoals langdurige droogte en extreme neerslag.



Figuur 3.1 KNMI'14 klimaatscenario's

De vier klimaatscenario's (G_H, G_L, W_H, W_L) verschillen in de mate waarin het warmer wordt (Gematigd (G) of Warm (W)) en hoe de neerslag verdeling over het jaar is (Hoge (H) of Lage (L) verandering in luchtstromingspatroon; Figuur 3.1). Gedetailleerde omschrijvingen van deze klimaatscenario's zijn beschikbaar op de website van het KNMI (<http://www.klimaatscenarios.nl>). Het KNMI Klimaatsignaal '21 geeft aan dat het klimaat sneller verandert dan eerder gedacht werd, wat zich in Nederland heeft geuit in meer hitte, droogte en extreme neerslag, en minder vaak voorkomen van strenge vorst. Sinds 1965 is de voorjaarsdroogte significant toegenomen. De zomers van 2018, 2020 en 2022 staan in de top-10 van droogste jaren in Nederland sinds 1906 (KNMI, o.b.v. SPEI-6 waarde).

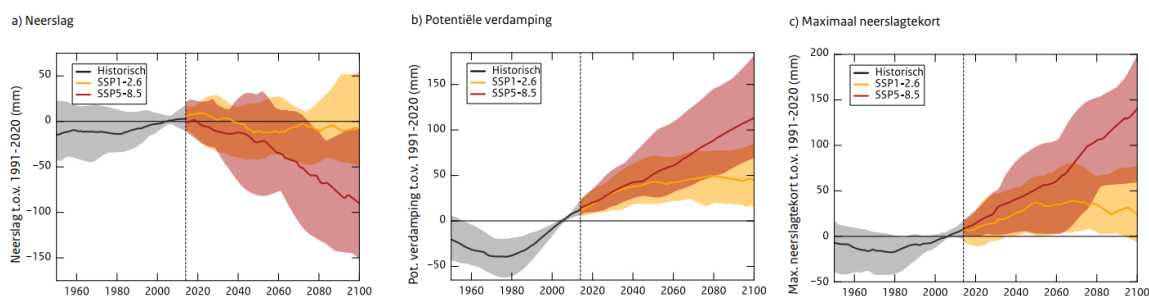
Het ontstaan van droogte wordt beïnvloed door veranderingen in neerslag en potentiële verdamping, en door watergebruik en efficiëntie daarvan. De potentiële verdamping is in de afgelopen decennia toegenomen in het Nederlandse binnenland door een toename in gemiddelde temperatuur en zonneschijn, wat aantoonbaar is veroorzaakt door klimaatverandering (KNMI, 2021). Dit betekent dat de kans op droogte in het groeiseizoen in het binnenland ook in de toekomst verder zal toenemen vanwege klimaatverandering (Figuur 3.2b en 3.2c). Voor wat betreft neerslag in het groeiseizoen (Figuur 3.2a) is het onzekerder of de trend zich doorzet omdat het niet zonder meer toegeschreven kan worden aan klimaatverandering (de trend overstijgt niet de grote natuurlijke variatie in neerslag in de tijd (van jaar-op-jaar) en ruimte). Bovendien hangt de hoeveelheid water die door de bodem wordt opgenomen en beschikbaar komt voor landbouw of natuur zowel af van de hoeveelheid neerslag als van de intensiteit van de neerslag: een enkele stortbui is minder effectief dan een langere periode met zachte regen. Naast een grotere kans op droogte in het voorjaar en in de zomer, zullen kansen op extreme buien, valwinden en hitte verder toenemen, en zal de zeespiegel verder stijgen in de toekomst.

Veranderingen in het klimaat hebben ook gevolgen voor de ozon (O₃) concentraties, welke toenemen bij hogere temperaturen en door zogenaamde O₃ 'precursors', waaronder biogene emissies uit planten en bomen (NMVOS), NO_x emissies en antropogene methaanemissies (CH₄). Voor Nederland wordt verwacht dat ozonpieken zullen stijgen ten gevolge van klimaatverandering (bron: KNMI²). De hogere ozonconcentraties leiden tot verminderde gewasopbrengsten. Troposferische ozon is tevens een sterk broeikasgas³.

¹ In 2023 zullen nieuwe KNMI klimaatscenario's beschikbaar komen die de KNMI'14 scenario's vervangen.

² <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/ozon-en-klimaat>

³ Vanwege de effecten van methaan op opwarming van de aarde en op de vorming van ozon, wordt meer dan de helft van de wereldwijde opbrengstverliezen door klimaatverandering toegeschreven aan methaanemissie (IPCC, 2022)



Figuur 3.2 Projecties voor veranderingen in (a) neerslag in het groeiseizoen (mm), (b) potentiële verdamping in het groeiseizoen (mm), en (c) maximaal neerslagtekort in het groeiseizoen (mm) in de stroomgebieden van de Rijn en Maas, inclusief Nederland (bron: KNMI Klimaatsignaal '21; SSP (Shared Socioeconomic Pathways) projecties betreffen scenario's voor concentraties van broeikasgasen en aerosolen in de atmosfeer o.b.v. verschillende sociaaleconomische, technologische en demografische ontwikkelingen).

3.2 Gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij

Klimaatverandering heeft impact op de melkveehouderij via een aantal weerfactoren. Voor gewasgroei en -kwaliteit zijn belangrijke weerfactoren veranderende neerslagpatronen met langere periodes van neerslagtekorten en -overschotten; een hogere luchttemperatuur; verlenging van het groeiseizoen; en een hogere concentratie CO₂ in de lucht (Gauly *et al.*, 2013). Voor het toekomstig klimaat in Nederland wordt verwacht dat een verandering van het verdamping- en neerslagpatroon in het groeiseizoen optreedt, de gemiddelde temperatuur stijgt en de CO₂ concentratie in de lucht toeneemt (RIZA, 2014; KNMI, 2015).

Met name water is een zeer bepalende factor voor de productie van ruwvoer: bij een voldoende nutriëntenvoorziening is de gewasgroei in grote lijn lineair evenredig met de beschikbaarheid van vocht (Doorenbos and Kassam, 1979). Natuurlijke neerslag van water voorziet in een groot deel van de vochtbehoefte, maar door veranderingen in neerslagpatronen zullen in het groeiseizoen sneller tekorten optreden of overschotten ontstaan, waardoor de groei van gewassen wordt gereduceerd. De landbouw is zodoende in grote mate afhankelijk van een goede regulatie van de aan- en afvoer van water.

Effecten van veranderingen in weerfactoren op de melkveehouderij zijn echter lastig te voorspellen en kwantificeren, vanwege verschillende redenen:

- Gevolgen van klimaatverandering kunnen zowel positief als negatief uitpakken:
 - Gemiddeld hogere temperaturen, verlenging van het groeiseizoen en stijging in CO₂ concentratie zijn naar verwachting gunstig voor gras- en maïsofbrengsten, en kunnen tevens kansen bieden aan de teelt van nieuwe gewassen in Noord Europa (EAA, 2019);
 - Weerextremen zoals droogte, hitte en wateroverlast zullen negatieve gevolgen hebben voor de productiviteit van gewassen en dieren. Dit geldt voor alle regio's in Europa (EAA, 2019). Gunstige effecten van de stijging in temperatuur en CO₂ concentraties kunnen door de toename in weerextremen worden afgezwakt of teniet gedaan (zie paragraaf 3.2.4).
- Klimaatscenario's kennen een grote mate van onzekerheid, met name wat betreft de frequentie en aard van weerextremen.
- Klimaatscenario's kunnen sterk verschillen tussen bedrijven, afhankelijk van de locatie, context en management van het bedrijf (zie paragraaf 3.3).
- Het klimaat is niet het enige dat verandert. In sommige studies wordt aangegeven dat andere factoren, zoals technologische ontwikkeling, beleid en marktontwikkeling, naar verwachting meer invloed zullen hebben op de ontwikkeling en prestaties van de melkveehouderij dan klimaatverandering (Ewert *et al.*, 2005; Hermans *et al.*, 2010; Paas *et al.*, 2016).

Voor de Nederlandse melkveehouderij zal klimaatverandering naar verwachting gevolgen hebben voor de volgende onderdelen in de bedrijfsvoering (De Vries *et al.*, 2018): gras- en gewasproductie; dierprestaties; diergezondheid en dierenwelzijn; prijzen van grondstoffen en zuivel; productiemiddelen (bv. water, land, stallen); en bedrijfsvoering (bv. beweiding, timing maaien, voerregimes). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in directe gevolgen (bv. verlies aan gewasproductie door suboptimale bodemvochtcondities) en indirecte gevolgen (bv. berijdingsverliezen door onvoldoende draagkracht van graszode). De verwachte effecten op de melkveehouderij worden in de volgende paragrafen toegelicht. Het betreft zowel geobserveerde (observationale studies) als voorspelde effecten (modelstudies).

3.2.1 Waterbeschikbaarheid

Waterbeschikbaarheid is een cruciale factor in gewasproductie. Op het moment dat de vraag groter is dan het aanbod treedt een watertekort op. Volgens de Droogtestudie Nederland (RIZA, 2014) kan een watertekort worden uitgedrukt als een tekort aan oppervlaktewater of een onvoldoende beschikbaarheid van bodemvocht in de wortelzone. Oppervlaktewatertekort is een belangrijke maatstaf voor de peilbeheerste gebieden in Nederland. Dit zijn de gebieden waar water kan worden aangevoerd voor peilhandhaving of waterkwaliteitsdoelstellingen. In vrijafwaterende gebieden wordt geen water via oppervlaktewater aangevoerd en vallen waterlopen droog bij onvoldoende neerslag. Hier is onvoldoende beschikbaarheid van bodemvocht in de wortelzone een belangrijke maatstaf.

De oppervlaktewatertekorten zijn in de Droogtestudie Nederland (RIZA, 2014) gedefinieerd voor de wateren die onderdeel uitmaken van de lokale watersystemen (polders, beeksystemen) en de tekorten voor het hoofdwatersysteem, waaronder de grotere boezemwateren, kanalenstelsels en rivieren. Onder het hoofdwatersysteem wordt het systeem verstaan, waarover de waterverdeling op landelijk niveau plaatsvindt. Aan de watervraag kan grotendeels voldaan worden, doordat op jaarbasis sprake is van een neerslagoverschot. Het watertekort is gemiddeld over Nederland maximaal 3% van de totale watervraag op het moment dat in de zomer een neerslagtekort optreedt en/of de aanvoer via de Rijn beperkt is. Een oppervlaktewatertekort is vooral nadelig voor het peilbeheer.

Het verschil tussen de hoeveelheid verdamping en neerslag noemen we het neerslagoverschot of -tekort. De langjarig gemiddelde verdamping en neerslag laat zien dat er in Nederland gemiddeld op jaarbasis sprake is van een neerslagoverschot. Het KNMI berekent om de tien jaar langjarige gemiddelden ('normalen') voor een groot aantal KNMI-stations. De meest recente langjarig gemiddelden gaan over de periode 1991-2020 (KNMI 2022, *KNMI – klimaatviewer*⁴). In Figuur 3.3 staat het langjarig gemiddelde voor de jaarlijkse gewasverdamping en neerslag 1991-2020. Gemiddeld is de verdamping in Noordoost-Nederland (NON) lager dan Zuidwest-Nederland (ZWN), en de gemiddelde jaarlijkse neerslag lager in Oost-Nederland (m.n. Zuidoost) dan in West-Nederland.

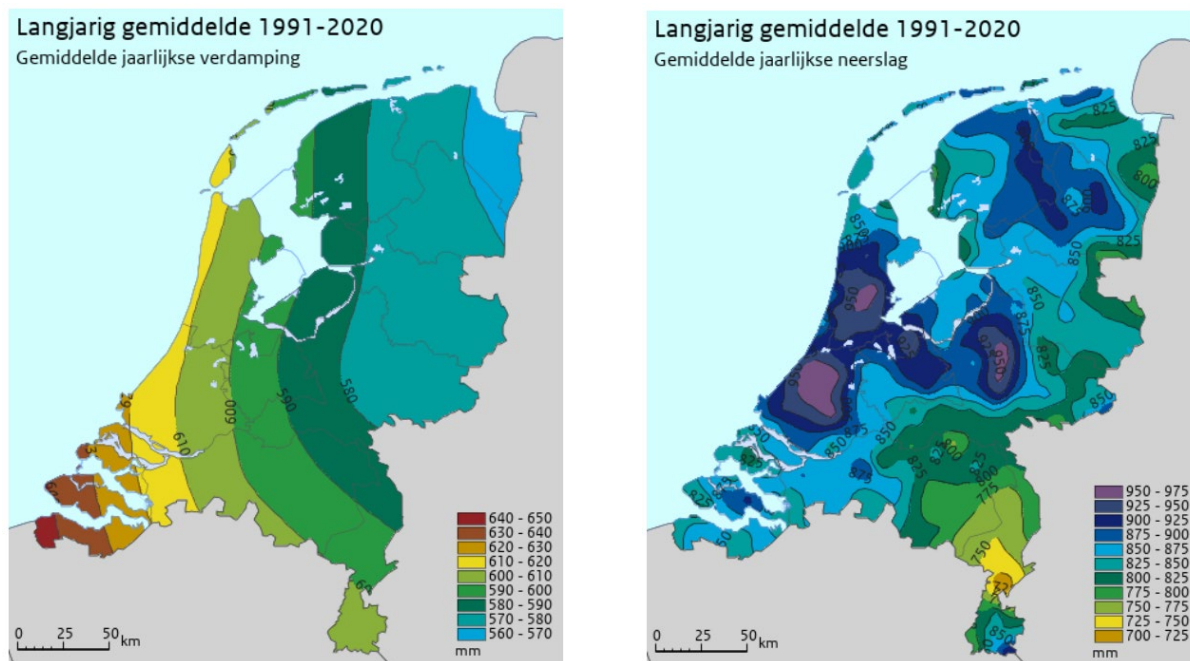
De gemiddelde gewasverdamping per maand voor het groeiseizoen voor de regio's Noordoost-Nederland en Zuidwest-Nederland (uitersten) staan in Tabel 3.1. De verdampingshoeveelheden voor de overige regio's liggen tussen die van Noordoost- en Zuidwest-Nederland in. Verschillen in gewasverdamping worden vooral veroorzaakt door verschillen in temperatuur en zonnestraling.

Tabel 3.1 Gemiddelde gewasverdamping per maand in het groeiseizoen voor Noordoost-Nederland (NON) en Zuidwest-Nederland (ZWN) in mm.

	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	Totaal
Regio NON	32	58	84	90	96	80	48	24	512
Regio ZWN	42	70	96	104	108	92	60	34	606

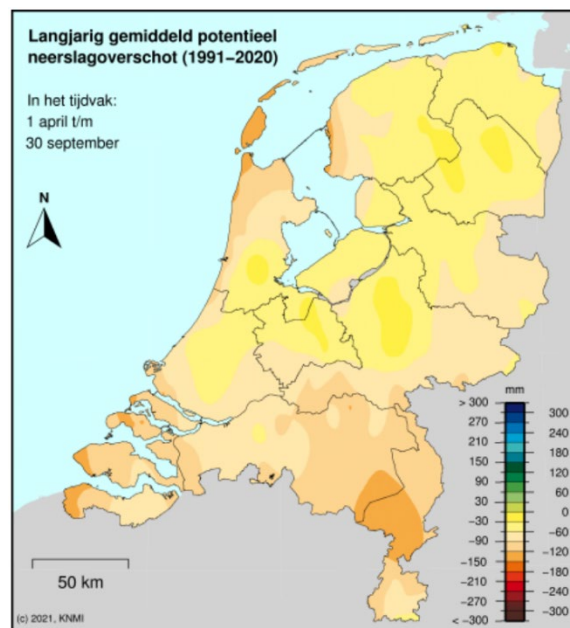
Het KNMI hanteert het begrip 'referentie-gewasverdamping' welke is gebaseerd op de formule van Makkink (Makkink, 1957). De totale jaarlijkse referentie gewasverdamping is ongeveer 550 mm. Op zeer warme, zonnige en winderige dagen in juli kan de verdamping wel 7 mm per dag bedragen, terwijl in december en januari slechts 7 mm in de hele maand verdampt.

⁴ <https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten/neerslag-verdamping/gemiddelde-hoeveelheid-verdamping>



Figuur 3.3 Langjarig gemiddelde jaarlijkse gewasverdamping (links) en neerslag (rechts) in Nederland 1991-2020 (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)).

Ondanks dat volgens het langjarig gemiddelde sprake is van een neerslagoverschot treedt in meer of mindere mate droogte op in het groeiseizoen door een tijdelijk neerslagtekort. Om inzicht te krijgen in het tekort wordt voor het groeiseizoen een doorlopend potentieel neerslagoverschot bepaald door het verschil te berekenen tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en de berekende referentiegewasverdamping. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september (KNMI – klimaatviewer). Een negatief getal geeft een tekort aan, een positief getal een overschot. Het tekort aan water vindt vooral plaats in de maanden april t/m juli met de grootste tekorten in mei en juni. Dit is juist de periode waarin veel gewassen beginnen op te komen en aardappels met knolzetting beginnen. In Figuur 3.4 staat het langjarig gemiddelde voor het jaarlijks potentieel neerslagoverschot 1991-2020.



Figuur 3.4 Langjarig gemiddeld jaarlijks potentieel neerslagoverschot 1991-2020 in groeiseizoen. Een negatief getal geeft een tekort aan, een positief getal een overschot. (KNMI 2022, [KNMI – klimaatviewer](#)).

Gemiddeld treedt in het groeiseizoen overal in Nederland een neerslagtekort op en dit leidt tot opbrengstderving van gewassen door reductie van gewastranspiratie. In West-Nederland kan droogte gepaard gaan met een tijdelijke verhoging van het zoutgehalte van het oppervlaktewater door verzilting. Bij hoge gehalten kan de gewasproductie hier nadeel van ondervinden. Er kunnen echter ook relatief natte jaren of perioden voorkomen. Een teveel aan water leidt tot zuurstofstress in de wortelzone en daarmee tot transpiratiereductie en productieverlies. Voor akkerbouwgewassen kan een tijdelijke sterke vernatting van de wortelzone desastreus zijn en tot een volledig verlies van het oogstbare gewas leiden.

3.2.2 Bodem

Klimaatverandering kan zorgen voor significante veranderingen in de bodemkwaliteit, al is er nog veel onzekerheid over hoe dit precies zal uitpakken (RIVM, 2011). Zo kunnen weersextremen de biologische functies van de bodem doen afnemen (resulterend in bv. verzilting, bodemerosie, wateroverlast; IPCC, 2022), en heeft een stijging in bodemtemperatuur invloed op diverse bodemprocessen en de ontwikkeling van vegetatie (Bakema *et al.*, 2022). Er is een vermoeden dat een toename in bodemtemperatuur het bodemorganische stof gehalte negatief kan beïnvloeden, vooral in hogere breedtegraden (noordelijker) (Qi *et al.*, 2016; Gregorich *et al.*, 2017; Hicks Pries *et al.*, 2017). Echter is de afbraaksnelheid van organische stof van meer factoren afhankelijk dan alleen temperatuur (bv. vochtigheid) en kan door hogere temperaturen de organische stof aanvoer ook toenemen (Bakema *et al.*, 2023). Organische stof speelt een sleutelrol voor vele bodemfuncties, waaronder het watervasthoudend vermogen (vooral in leemhoudende zandgronden; zie Tabel 4.3).

Door klimaatverandering is de bodemtemperatuur in Nederland de afgelopen 40 jaar gemiddeld met 1.5 °C gestegen, en deze zal naar verwachting de komende 30 jaar met nog eens 1.2 °C toenemen (ca. 2.7 °C hoger in 2050 dan in 1980; Bakema *et al.*, 2022; Bakema *et al.*, 2023). De mate waarin de bodem opwarmt wordt sterk beïnvloed door vegetatie; in een natuurgebied liep op kale grond de bodemtemperatuur ca. 30% sneller op dan op grond begroeid met gras (Bakema *et al.*, 2023).

Tijdens de droge zomers in 2018 en 2019 werd door Eurofins⁵ een hogere bodemvoorraad nutriënten gemeten (de meeste kationen (bv. kalium) en anionen, en fosfaat), veroorzaakt door minder uitspoeling van nutriënten uit de bodem en minder opname door planten tijdens droogte. Vooral op gronden met een lage pH daalde de pH (verzuren). Bij hogere temperaturen kan mineralisatie toenemen in de bodem, waardoor er meer stikstof vrijkomt, maar dit proces kan bij onvoldoende bodemvocht door droogte stoppen. Als er vervolgens neerslag komt of beregend wordt kan in korte tijd een grote hoeveelheid stikstof vrijkomen die niet volledig benut kan worden en potentieel uitspoelt.

3.2.3 Gras- en gewasproductie

In Centraal Europa heeft klimaatverandering invloed op de gewasgroei (en dus gewasopbrengst) via hogere temperaturen, een verlenging van het groeiseizoen, veranderingen in neerslagpatronen (incl. extreme neerslag en droogte) en een verhoogde CO₂ concentratie in de lucht (Gauly *et al.*, 2013). Ook nemen de bewijzen van negatieve effecten van ozon op gewassen als gevolg van de fytotoxische aard van ozon (een oxidant) aanzienlijk toe (IPCC, AR6). Volgens Gauly *et al.* (2013) zullen gemiddelde opbrengsten van voedergrassen in Centraal Europa naar verwachting stijgen, maar de kwaliteit hangt af van vochtbeschikbaarheid en bodemkarakteristieken. Bovendien zijn er grote verschillen tussen de belangrijkste gewassen voor melkvee, gras en maïs, zijnde een C3 en C4 plant⁶ respectievelijk.

Gras

Verschillende klimaatfactoren kunnen de jaarlijkse grasopbrengst doen stijgen. Door gemiddeld hogere temperaturen en verlenging van het groeiseizoen (vroegere start en later einde groeiseizoen) worden grasopbrengsten verwacht gelijk te blijven (Dellar *et al.*, 2018) of te stijgen (Gauly *et al.*, 2013). Dit betekent tevens een langer weideseizoen met potentieel meer weidedagen en minder staldagen. In de bodem kan een hogere temperatuur de mineralisatie stimuleren, waardoor sneller nutriënten vrijkomen uit organische stof, mits voldoende vocht aanwezig is, maar dit kan ook tot hogere nutriëntenverliezen leiden.

Een hogere CO₂-concentratie in de lucht kan de grasgroei bevorderen en tevens de waterefficiëntie van gewassen verhogen (Gauly *et al.*, 2013). Een toename in grasgroei kan echter tot een onbalans in de nutriëntenvoorziening leiden, wat de grasopbrengst en -kwaliteit kan beïnvloeden (Lüscher *et al.*, 2005). Aanvullende stikstoftoediening kan in dat geval de productie van (monocultuur) grasland bevorderen. Bij

⁵ <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/klimaat-en-bodem>

⁶ Gras is een C3-plant, welke zijn aangepast aan een gematigd klimaat: ze beginnen bij een lagere temperatuur te groeien, maar zijn minder efficiënt met water dan C4-planten zoals maïs. Een verhoogde CO₂ concentratie verhoogt de fotosynthese snelheid in C3 soorten maar in C4 soorten is dat effect minder aanwezig (Hopkins and Del Prado, 2007; Izaurrealde *et al.*, 2011; Gauly *et al.*, 2013). Maïs is een C4-plant, welke zijn aangepast aan een tropisch klimaat: ze starten de groei bij een relatief hoge temperatuur en zijn efficiënter met water dan C3-planten.

graskruidmengsels kan de hogere CO₂ concentratie de competitie en groei van de kruiden bevorderen i.v.m. de stikstofbeperking voor grasgroei.

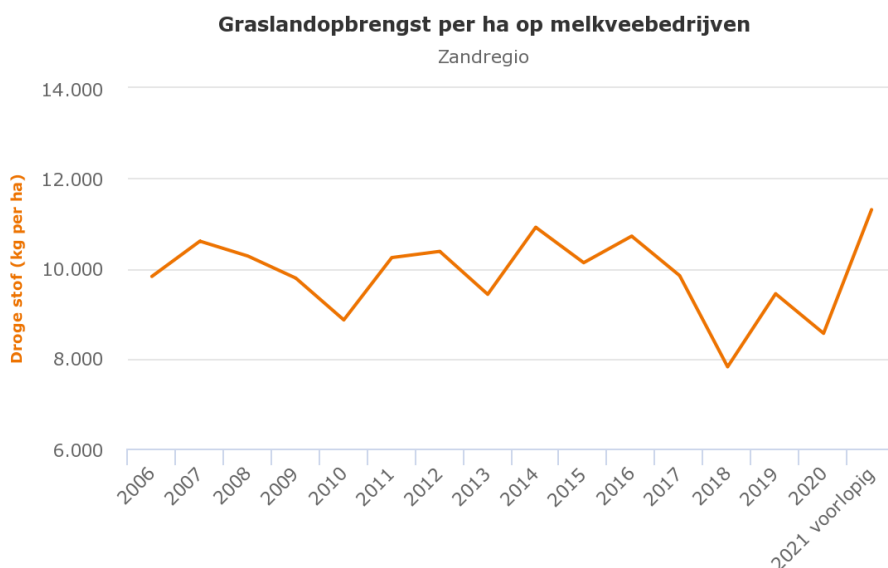
Bij langdurige droogteperiodes kunnen grasopbrengsten echter netto dalen (scenario van snelle klimaatverandering W+; Paas, 2013; Izaurralde *et al.*, 2011). Gras heeft een hogere vochtbehoefte per eenheid biomassaproductie dan veel andere gewassen (zie Tabel 4.7), wat betekent dat de waterbeschikbaarheid in toenemende mate een beperkende factor zal zijn voor grasproductie wanneer langdurige droogte vaker voorkomt. Zo laat een recente studie voor zandgrond in Friesland (G_h scenario) een netto daling zien in grasopbrengsten richting 2050, ondanks gebruik van watervasthoudende maatregelen (Hoving *et al.*, 2023). De mate van derving hangt af van welk klimaatscenario uit wordt gegaan, in hoeverre de CO₂-concentratie de gewasproductie beïnvloedt, of berekening toegepast kan worden en welk gewas het betreft. Ook zijn er regionale verschillen (zie paragraaf 3.3), en hangt de derving af van het moment waarop droogte intreedt in het groeiseizoen. Vanwege de vroege start van grasgroei in het voorjaar is gras vooral gevoelig wanneer droogte vroeg in het seizoen intreedt (Nawara *et al.*, 2021).

Voor wat betreft de graskwaliteit zal bij droogte het gewas sneller verouderen, en daalt de verteerbaarheid (Gauly *et al.*, 2013). Het gras zal lagere eiwitgehalten bevatten en hogere concentraties van wateroplosbare koolhydraten (bij gelijkblijvende droge stofopbrengst). Door droogte kan ook de graszode achteruitgaan door het ontstaan van een open graszode en de intrede van onkruiden of ongewenste grassoorten (bv. kweek en straatgras). Vlinderbloemigen dalen sneller in opbrengst door droogte dan grassen en kruiden.

Naast droogte is hitte een belangrijk klimaatrisico voor grasopbrengsten. Bij hoge temperaturen (boven ca. 25-27°C) stoppen C3-gewassen zoals Engels raaigras met produceren van biomassa. Wanneer dit lang aanhoudt sterft de bladmassa van gras af en gaat het in rust om pas weer te gaan groeien als de temperatuur daalt en er weer voldoende neerslag valt.

Ook hogere ozonconcentraties in de zomer kunnen nadelige effecten hebben op de opbrengst en kwaliteit van grasland (Pleijel *et al.*, 1996; Super *et al.*, 2015; Hayes *et al.*, 2016), vooral voor hoogproductief grasland (Bassin *et al.*, 2007). Voor graslanden in het Verenigd Koninkrijk vonden Hayes *et al.* (2016) een significante toename in het gehalte aan ADF, vezels en lignine bij een hogere ozonconcentratie, en daardoor een lagere metaboliseerbare energie inhoud van gras. Vlinderbloemigen zijn bovendien meer gevoelig voor ozon dan andere kruiden en grassen, wat zorgt voor minder stikstoffixatie en een reductie van de klaver/gras verhouding (o.a. Nussbaum *et al.*, 1995; Bassin *et al.*, 2007; Hewitt *et al.*, 2014). De kennis over de gevoeligheid van grassoorten voor ozon is echter nog beperkt.

Gras heeft relatief weinig last van intense regenbuien, maar wateroverlast kan wel de oogst van gras bemoeilijken door verminderde gelegenheid voor berijden, bewerking en beweiden; mogelijk resulterend in schade aan de graszode. Bodemverdichting kan opbrengstverliezen door droogte of wateroverlast vergroten. Door de schades die op kunnen treden, vermindert de productiviteit van de graszode en vergroot het risico op stikstofuitspoeling, doordat stikstof uit mineralisatie van organische stof in de bodem en meststoffen minder goed benut wordt. In de winter kan door een toename in neerslag de uitspoeling toenemen, maar is er tevens een potentieel hogere stikstoffefficiëntie te verwachten door groeiend gras.



Figuur 3.4 Gemiddelde graslandopbrengst (in kg drogestof per ha) per jaar van melkveebedrijven op zandgrond in het Bedrijveninformatienet (Bron: Bedrijveninformatienet).

Figuur 3.4 laat de sterke daling in grasopbrengsten zien op bedrijven op zandgrond in de periode 2018-2020. In 2021 lagen grasopbrengsten in Nederland gemiddeld 25% hoger dan in 2020 (Agrimatie, 2022). Op bedrijven van de VKA in de Achterhoek lagen grasopbrengsten gemiddeld 27% lager in het droge jaar 2018 dan in de 6 voorgaande jaren (Eekelder and Hilhorst, 2021; o.b.v. Kringloopwijzergegevens). Ook in 2019 en 2020 waren grasopbrengsten op de VKA bedrijven laag, maar in mindere mate dan in 2018 (9,7 en 9,2 t DS/ha resp., vs. 7,7 t DS/ha in 2018). In het Koeien en Kansen-project werd voor 2022 een 2 ton lagere DS grasopbrengst gerapporteerd dan in 2021. Voor wat betreft graskwaliteit waren eiwitgehalten in het gras op de VKA bedrijven relatief hoog in 2018 (191 gr/kg DS), wat kan worden verklaard door het relatief grote aandeel van de eerste snede in een droog jaar. Na de eerste snede is niet veel gras meer geoogst, en omdat de eerste snede een relatief hoog RE-gehalte had, steeg het jaargemiddelde. De droogteperiode van 2018 zorgde tevens voor een achteruitgang van de graszode op Koeien en Kansen bedrijven, welke in het opvolgende jaar nog steeds invloed had op de ontwikkeling van gras en voederwaarde (De Haan *et al.*, 2019). Extra bodembewerkingen waren nodig om het grasland te herstellen (soms met extra herbiciden), waardoor tevens de 80/20 regel (areaalverhouding gras-snijmaïs) voor derogatie knelde met de optimalisatie van ruwvoerproductie. Vanwege de droogte werd het zinvol geacht om mest door te schuiven naar het volgende groeiseizoen, en was het kunnen salderen van mesthoeveelheden tussen jaren wenselijk.

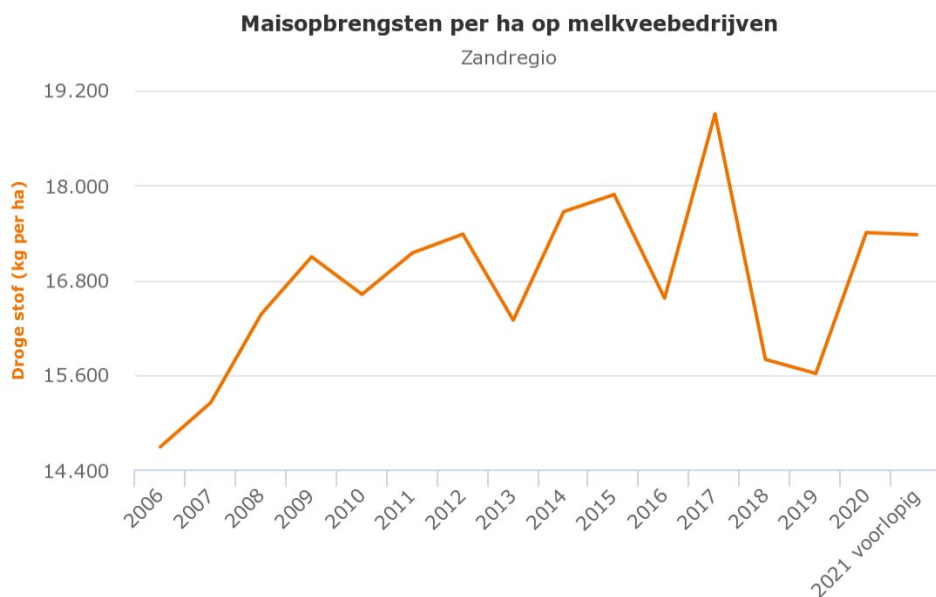
Maïs

Maïsoopbrengsten worden verwacht te stijgen door hogere temperaturen, ingeschat op 9% stijging in het G scenario en met 1% in het W+ scenario (Wolf *et al.*, 2010). Maïs zal naar verwachting in eerste instantie minder last hebben van droogte en meer profiteren van de hogere temperaturen dan blijvend grasland, maar als droogte lang aanhoudt zal ook maïs last krijgen van droogte. Van belang is op welk moment van de teelt de droogte intreedt: droogte bij kolfzetting zorgt voor een lager kolfaandeel en daarmee ook een lagere voederwaarde. Maïs kan slecht tegen wateroverlast en (te) lage temperaturen. Als C4-gewas profiteert maïs minder van de toename van de CO₂-concentratie in de lucht dan gras. Voor wat betreft effecten van hogere ozonconcentraties schatten Mills *et al.* (2018) wereldwijde door ozon veroorzaakte opbrengstverliezen op gemiddeld 12%, 7%, 4% en 6% voor sojabonen, tarwe, rijst en maïs, respectievelijk (periode 2010-2012). In de Verenigde Staten is ingeschat dat ozon via luchtvervuiling de (geïrrigeerde) maïsoopbrengst met 10% doet dalen, en dat verbetering van de luchtkwaliteit in de VS effectief is geweest om productieverliezen door ozon te verminderen (McGrath *et al.*, 2015).

Door zachtere winters kunnen schimmelziekten eerder in het gewas komen en plaaginsecten eerder ontwaken en daardoor hogere plaagdichtheden bereiken (Leisova-Svobodova *et al.*, 2012; Juroszek and von Tiedemann, 2015; Lamichhane *et al.*, 2015; De Vries *et al.*, 2018). Besmetting met schimmels die mycotoxinen in het geoogste product nemen naar verwachting toe.

Onkruiden groeien sneller in het voorjaar, waardoor meer opbrengstvermindering van gewassen op kan treden indien onkruidbestrijding niet ook vervroegd wordt. Ook kunnen nieuwe plaaginsecten en onkruidsoorten oprukken vanuit het zuiden naar Noord-West Europa (zie beschrijving per ruwvoedergewas in De Vries *et al.*, 2018). Aan de andere kant kunnen er ziekten zijn die zich in de zomer juist minder kunnen ontwikkelen wanneer het warmer en droger is. Klimaatverandering heeft ook effect op bestuivers van gewassen (Kjøhl *et al.*, 2011; Potts *et al.*, 2016), waaronder voor veevoer gebruikte oliehoudende gewassen zoals koolzaad en diverse leguminosen. Sommige (warmteminnende) soorten bestuivers nemen toe of komen naar Nederland, terwijl andere afnemen of verdwijnen uit Nederland.

Maisopbrengsten op bedrijven op zandgrond lieten een minder sterke daling zien dan grasopbrengsten in de periode 2018-2020 (Figuur 3.5). In 2021 lag de gemiddelde maïsopbrengst in Nederland zelfs iets lager dan in 2020 (met name door lage opbrengsten in de kleiregio; Agrimatie, 2022).



Figuur 3.5 Gemiddelde maïsopbrengst (in kg drogestof, stikstof en fosfor per ha) per jaar van melkveebedrijven op zandgrond in het Bedrijveninformatienet (Bron: Bedrijveninformatienet).

Resultaten uit andere landen

In verschillende landen zijn verwachtingen t.a.v. impacts van klimaatverandering op de melkveehouderij onderzocht aan de hand van modelsimulaties:

- In Ierland simuleerden Fitzgerald *et al.* (2009) effecten van klimaatverandering in het jaar 2080 t.o.v. 1970 voor lage-kosten graslandbedrijven (model DairySim). Hierbij werd uitgegaan van een gemaximaliseerd productiescenario (maximale melkproductie per ha) en de aanname dat hogere N bemesting is toegestaan. Resultaten lieten een stijging zien in jaarlijkse grasopbrengsten per ha in 2080, met name door een langer groeiseizoen, met vroegere lente groei. Ook effecten van hogere CO₂ concentraties bleken een belangrijke bijdrage te leveren aan de stijging in jaarlijkse grasopbrengst (geschat op 17%). Geconcludeerd werd dat melkveebedrijven in Ierland zich goed kunnen aanpassen aan de voorspelde veranderingen in het klimaat in 2080, en een hogere melkproductie per hectare kunnen realiseren. Afhankelijk van het klimaatscenario met meer of minder toename in de frequentie van weerextremen moeten bedrijven aanvullende maatregelen treffen zoals bijvoeren in het veld of opstallen.
- In Nieuw-Zeeland hebben Kalaugher *et al.* (2017) een modelstudie uitgevoerd naar het effect van klimaatverandering op de melkveehouderij voor zes representatieve melkveebedrijven in de belangrijkste melkveegebieden (Dairy NZ whole farm model (WFM), een geïntegreerd bedrijfsmodel vergelijkbaar⁷ met het Nederlandse Waterpas model (de Vos *et al.*, 2006)). Resultaten laten zien dat klimaatverandering zonder aanpassingen in de bedrijfsvoering waarschijnlijk een negatief effect zal hebben op de meeste van de belangrijkste melkveegebieden van Nieuw-Zeeland.

⁷ WFM rekent met specifieke weerdata en levert uitvoer voor graslandgroei en dierproductie op dagbasis en economische resultaten op jaarbasis. Net als Waterpas neemt WFM niet het effect mee van een veranderende kooldioxide (CO₂) concentratie in de lucht.

- Het niveau en de aard van de impact hangen in grote mate af van de regionale klimaatvariabiliteit en de bedrijfsvoering. Onder het huidige beheer varieerde het effect van klimaatverandering op de gemiddelde grasproductie op jaarbasis van geen verandering tot een daling van 18%. Er werd aangegeven dat het aandeel gras voor weiden kleiner wordt.
- Uit een simulatiestudie door Harrison *et al.* (2017) voor Zuid-Australië bleek dat totale grasopbrengsten en economische rendabiliteit van graslandbedrijven zouden dalen in verschillende regio's richting 2040, ondanks hogere opbrengsten in de winter en vroege lente. De reductie in opbrengst was het sterkste op drogere ('dryland') bedrijven (vs. bedrijven met irrigatie) en in het meest drastische klimaatscenario ('high change'). De jaar-tot-jaar variatie in grasopbrengsten en rendabiliteit was veel groter dan de gemiddelde verwachte verandering over 40 jaar. Dit is waarom de Australische zuivelsector boeren adviseert om te sturen op 'klimaatvariatie' (bv. week-tot-week en jaar-tot-jaar) en niet op 'klimaatverandering' (lange-termijn veranderingen over decennia).
- In een onderzoek naar gevolgen van klimaatverandering in West Australië geven Sudmeyer *et al.* (2016) aan dat effecten afhankelijk zijn van locatie, bodemsoort en management. Zo profiteert vee in gebieden met veel neerslag (Zuidwest-Australië) van een hogere ruwvoerproductie door hogere temperaturen in de winter/voorjaar en minder wateroverlast, maar in andere gebieden (noorden/oosten) zal de ruwvoerproductie dalen, alsook de blootstelling en kwetsbaarheid voor parasieten en ziekten van vee. De jaarlijkse variatie in grasopbrengsten wordt groter, en verhoogde CO₂ concentraties zullen naar verwachting de verteerbaarheid en eiwitopbrengst van grasland doen dalen indien tropische planten (C4) meer dominant worden, maar snellere groei van vlinderbloemigen kunnen dit effect teniet doen.

3.2.4 Diergezondheid en dierenwelzijn

Effecten van klimaatverandering kunnen direct of indirect effect hebben op productie, diergezondheid en welzijn van melkvee. Een direct effect op de koeien is bijvoorbeeld hittestress en een indirect effect is bijvoorbeeld de veranderingen in infectiedruk van ziekteverwekkers (bacteriën, virussen, parasieten; met name maagdarm-parasieten zoals leverbot (van Dijk *et al.*, 2010)) of veranderingen in hoeveelheid en kwaliteit van voer ten gevolge van klimaatverandering. Het kan risico op vector gebonden dierziekten kan toenemen, wanneer specifieke muggen, knutten of teken toenemen in de regio.

Hittestress

Wanneer de omgevingstemperatuur stijgt kunnen koeien stress ervaren doordat ze hun eigen lichaamswarmte onvoldoende kwijt kunnen. Afgifte en productie van warmte moeten met elkaar in balans zijn; is dat niet het geval, dan zal de lichaamstemperatuur van de koe gaan stijgen. Dit gebeurt zodra de bovenste temperatuur van de thermo-neutrale zone wordt overschreden en de koe geen extra mogelijkheden meer heeft om extra warmte af te geven, dan wel warmteproductie te reduceren. Waar precies deze grens ligt hangt ook af van de luchtvochtigheid, de luchtsnelheid in de omgeving, mogelijke directe zoninstraling op de huid en het productieniveau van de koe. De warmteproductie van de koe ligt hoger naarmate ze meer melk produceert.

Oplopende temperaturen, perioden met langdurige hoge temperaturen, en toenemende zoninstraling in gematigde gebieden waar melkvee met hoge productie wordt gehouden verhogen het risico op hittestress. Bij een stijgende omgevingstemperatuur zal een koe verschillende fysiologische responses aan moeten spreken om met het verschoven evenwicht om te gaan. Deze responses bestaan uit een versnelde ademhaling, een verhoogde bloedstroom van het lichaamscentrum naar de oppervlakkige huid, verhoogde productie en afgifte van zweet, verhoogde wateropname, verlaagde herkauwactiviteit, verminderde lichaamsactiviteit, verhoogde hartslag, het verlagen van eigen warmteproductie en uiteindelijk het verhogen van de eigen deep core lichaamstemperatuur (Zhou *et al.*, 2022). Wanneer de fysiologische responses niet meer afdoende zijn om de eigen lichaamstemperatuur constant te houden, ontstaat hittestress.

Gevolgen van hittestress

Hittestress heeft een negatief effect op melkproductie, waarbij dalingen tot 12% in kg melk en dalingen in gehalten aan vet en eiwit in de melk tot 16% en 17% respectievelijk zijn vastgesteld (Timmerman *et al.*, 2018). De koeien lopen ook verhoogde risico's op gezondheidsproblemen (hogere celgetal, hogere incidentie van mastitis, groter risico op stofwisselingsziekten en negatieve energiebalans, groter risico op pens verzuring, meer klauwproblemen), sterfte (Vitali *et al.*, 2020), verminderde vruchtbaarheid (verminderd

tochtgedrag, lager drachtigheidspercentage door verhoogde vroeg embryonale sterfte en slechtere ei-kwaliteit) en aangepast gedrag (koeien gaan meer staan in plaats van liggen en zijn minder actief, ze vertonen ander eetgedrag en de wateropname neemt toe) (Timmerman *et al.*, 2018; Bagath *et al.*, 2019; Ahmad Para *et al.*, 2020; Dahl *et al.*, 2020; Bezdiček *et al.*, 2021).

De verminderde melk-, vet- en lactoseproductie wordt voornamelijk veroorzaakt door een lagere voer en energieopname en een verhoogde energiebehoefte voor thermoregulatie (West, 2003; Baumgard and Rhoads, 2013). Met name bij melkkoeien in het begin van de lactatie kan de verminderde energieopname de toestand van een negatieve energiebalans (NEB) versterken (West, 2003). Echter, de lagere voeropname verklaart slechts 50% van verlaagde melkproductie (Bernabucci *et al.*, 2010). Hittestress beïnvloedt het energie, vet en eiwit metabolisme, veroorzaakt oxidatieve stress, en vermindert de leverfunctie, immuun response en vruchtbaarheid. Deze fysiologische aanpassingen in response op hittestress beïnvloeden de verdeling van nutriënten en het glucose metabolisme (Bernabucci *et al.*, 2010).

De lagere voeropname tijdens hittestress heeft verschillende oorzaken. Hogere temperaturen veroorzaken verminderde eetlust via een negatief effect op het limbische systeem (Baile and Forbes, 1974). Reeds bij een omgevingstemperatuur 25°C neemt de voeropname in melkkoeien af. Een verminderde voeropname is een vorm van adaptatie door het dier waardoor de warmteproductie tijdens pensfermentatie afneemt (Kadzere *et al.*, 2002). Daarnaast laten melkkoeien gedragsaanpassingen zien in de vorm van een verminderde fysieke activiteit en vertonen van gedrag dat de afgifte van warmte bevordert zoals het vermijden van drukte (grotere fysieke afstand tussen kuddegenoten) en versnellen van de ademhaling (Bernabucci *et al.*, 2010).

Het risico op hittestress neemt toe bij stijgende temperaturen in combinatie met luchtvochtigheid. Als hittestress indicator wordt meestal de Temperatuur Luchtvochtigheid Index (THI) gebruikt. Het voordeel van deze indicator is deze gemakkelijk gemeten kan worden doordat alleen de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid nodig zijn. Echter zonne-instraling en windsnelheid worden in deze index niet meegenomen en ook specifieke koekenmerken niet. Wanneer maatregelen genomen moeten worden om de impact van hittestress te reduceren zijn er echter meer factoren die een rol spelen naast temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (Zhou *et al.*, 2022). Zo zijn Holstein Friesian koeien met hoge melkproducties relatief gevoelig voor hittestress, aangezien de eigen warmteproductie groter is bij hogere melkproductieniveaus. Lactatiestadium, leeftijd en ras bepalen daarmee ook de gevoeligheid voor hittestress.

Negatieve effecten van hittestress zijn niet zichtbaar in de gemiddelde melkproductie per koe in de periode 2018-2020 (Agrimatie, 2022), al spelen hier ook andere factoren een rol (bv. introductie van fosfaatrechten). Ook uit het onderzoek naar melkveebedrijven in de Achterhoek o.b.v. Kringloopwijzer gegevens (Eekelder and Hilhorst, 2021) bleek dat de gemiddelde melkproductie per koe tussen 2013-2020 steeg met ruim 10%: in 2018 kwam de gemiddelde melkproductie voor het eerst boven de 10.000 kg FPCM per koe, en daarna bleef het doorstijgen tot 10.333 kg in 2020. Dit suggereert dat de droogte en hitte relatief weinig invloed hebben op het totale melkproductieniveau. Ook de voerefficiëntie liet een stijgende lijn zien (in 2020 gemiddeld 1,24 kg FPCM per kg DS voeropname). Het ruw eiwit (RE) gehalte in het rantsoen steeg in 2018 naar 166 g/kg DS en daalde daarna tot 165 g in 2019 en 162 g in 2020.

Koudestress vs. hittestress

Een onderzoek in de Verenigde Staten naar productiviteit van koeien op melkveebedrijven in 36 staten in de afgelopen vier decennia laat zien dat koudestress (d.w.z., een lagere THI) gemiddeld meer invloed heeft op productiviteit dan hittestress (hogere THI) (Gisbert-Queral *et al.*, 2021). De toename in THI tot dusver heeft daardoor in de meeste staten een netto gunstig effect gehad op totale melkproductie, echter wordt verwacht dat toekomstige toenames in THI dit gunstig effect teniet kunnen doen. Resultaten laten ook zien dat de gevoeligheid voor THI in de afgelopen 40 jaar sterk is afgenomen. Hierbij zijn koeien op bedrijven in koudere staten meer gevoelig voor hittestress dan koeien in warmere staten, en koeien in warmere staten meer gevoelig voor koudestress dan koeien in koudere staten. Verwacht wordt dat dit komt door effectieve managementaanpassingen op de bedrijven, wat bedrijven minder gevoelig maakt voor koude- dan wel hittestress. Volgens de auteurs hangt dit samen met de schaalvergroting in dezelfde periode, met meer opstallen en minder beweiding, waardoor meer klimaatcontrole mogelijk was.

3.2.5 Economie

Economische impacts door klimaatverandering zijn volgens Gaulty *et al.* (2013) naar verwachting neutraal voor Centraal Europa indien bedrijven passende maatregelen doorvoeren. Ook verschillende Nederlandse studies, waaronder een modelstudie naar melkveebedrijven op zand in de Baakse Beek, geven een verwachting aan dat toekomstige stijgingen in temperatuur en CO₂ concentraties een positief effect hebben op het bruto bedrijfsresultaat van de Nederlandse melkveehouderij in 2050 (Schaap *et al.*, 2014; Paas *et al.*, 2016). Echter wordt ook aangegeven dat dit effect bij snelle klimaatverandering (scenario W+) door weersextremen kan worden afgezwakt, of teniet gedaan (Paas *et al.*, 2016). Niet alle studies nemen veranderingen in frequenties van weersextremen echter mee in de modellen, met belangrijke gevolgen voor conclusies. Zo werden in een Australische studie door Harrison *et al.* (2017) lagere grasopbrengsten verwacht richting 2040, in tegenstelling tot andere scenariostudies in dezelfde regio die hogere opbrengsten verwachtten omdat hun modellen alleen rekening hielden met geleidelijke klimaatverandering.

Een belangrijke factor zijn voerkosten. Door de lagere gewasopbrengsten kunnen kosten van ruwvoer en krachtvoer oplopen; zoals hogere prijzen van mais in 2022 door noodrijpe mais en lagere opbrengsten. Ook effecten van klimaatverandering elders in de wereld kunnen tot prijsstijgingen of schaarste in de aanvoer van grondstoffen voor Nederland leiden. Zo lag de maisproductie in de EU in 2022 fors lager doordat ook de maisoogsten in Spanje en Frankrijk tegenvielen. Volgens Bedrijfsinformatienet was de krachtvoerprijs in de periode 2018-2020 echter niet significant gestegen, maar wel in 2021 en 2022 door de oorlog in de Oekraïne en gerelateerde onrust op internationale markten (bron: Agrimatie.nl). Voor Koeien & Kansen bedrijven werden wel hogere voerkosten (krachtvoer en ruwvoer) gerapporteerd in het jaar 2018 als gevolg van de extreme droogte, en waren er extra kosten voor beregening, graszaad en onkruidbestrijding (De Haan *et al.*, 2019). Aan de andere kant was er besparing op kosten voor kunstmest en voederwinning.

Een andere belangrijke factor is de melkprijs. Uit een analyse door Van Asseldonk *et al.* (2021) naar effecten van droogte op BIN melkveebedrijven in verschillende zandgebieden in Nederland bleek dat het inkomen in de droogtejaren 2003, 2006, 2018 en 2019 gemiddeld 2% hoger lag dan in de vier omliggende referentiejaren. Opbrengsten van snijmaïs en gras waren gemiddeld 10% en 8% lager in de drogere jaren (laagste in oostelijk zand met -18% en -14%, resp.), met hogere beregeningskosten en voerkosten per koe (m.n. extra aankoop krachtvoer). Dit resulteerde echter niet in een lager inkomen vanwege hogere melkprijzen in de drogere jaren. Terwijl de totale melkproductie in Nederland niet veel daalde, daalde het aanbod op de Europese markt wel door de droogte, en steeg de melkprijs.

3.2.6 Milieu

Bodemoverschotten

In België hebben Nawara *et al.* (2021) onderzocht welke gevolgen veranderende of extremere weersomstandigheden door klimaatverandering hebben voor nutriëntenverliezen in gras- en maisproductie. Hun bevindingen zijn als volgt:

- Als droogte en hitte samenvallen met de bloei kan de kolf en korrelvorming gehinderd worden en door opbrengstdervingen de N-opname door maïs beperken waardoor meer stikstof in de bodem achterblijft. Als de oogst te laat in het seizoen is kunnen vanggewassen geen sterke ontwikkeling meer hebben voor de winter.
- Voor de teelt van maïs na gras wordt een toename in nitraatresiduen verwacht wanneer de frequentie en lengte van droogteperiodes toeneemt rond het tijdstip dat de maïs gezaaid wordt. Melkveehouders wachten vaak lang met het oogsten van de eerste snede gras om een hoge grasopbrengst te halen of goede weersomstandigheden voor voordrogen af te wachten. Hierdoor wordt de maïs later gezaaid, waarbij voorjaarsdroogte voor vertraagde opkomst en groei kan zorgen. Als de maïs hierdoor zijn volle potentieel niet haalt zal dit de kans op een gereduceerde N-opname en dus nitraatstikstofresiduen vergroten. Met name op droge zandgronden zal de bodem bij droogte in het voorjaar snel uitdrogen, zeker als al veel vocht werd getranspireerd door het gras.
- Bij toepassing van drijfmest na de eerste snede gras kan bij droogte de mineralisatie van het organische deel van de drijfmest stoppen en pas weer op gang komen bij voldoende vocht, met meer nitraatstikstofresidu tot gevolg.

- De werking van bodemherbiciden kan slechter zijn onder droge omstandigheden waardoor onkruiddruk een groter probleem wordt, hetgeen door concurrentie de jeugdgroei van maïs belemmert en opbrengstdervingen vergroot, en meer nitraatstikstofresiduen tot gevolg heeft.
- Extreme neerslag kan leiden tot wateroverlast, erosie, uitspoeling van nutriënten en schade aan grasland door vertrapping (Gunasekera et al., 2007). Nawara et al. vullen aan dat door extreme neerslag in de periode tussen de maïsoogst en het inzaaien van het vanggewas het zaaien van het vanggewas uitgesteld, bemoeilijkt of zelfs onmogelijk kan worden. Indien maïs vroeger geoogst kan worden door klimaatverandering kan dit juist gunstig zijn voor de ontwikkeling van het vanggewas omdat deze vroeger in het najaar geteeld kan worden, waardoor meer nitraat uit de bodem onttrokken kan worden.
- Volgens Nawara et al. zou de totale grasopbrengst op jaarbasis minder last hebben van droogte dan maïs, omdat de eerste twee sneden reeds in het voorjaar geoogst worden en deze de hoogste opbrengst en voederwaarde geven. Groei tot laat in het seizoen zorgt ook voor een late N-opname en minder nitraatstikstofresiduen.
- De graszode kan echter wel schade oplopen door droogte waardoor herinzaai nodig is, en scheuren kan tot mineralisatie leiden wanneer dat niet gewenst is. Ook kan de gemineraliseerde N door regen na de zomerdroogte maar beperkt worden opgenomen door hergroei van gras. Met name bij ongunstige timing kan het nieuwe gras mineralisatie in de zode niet opnemen, waardoor stikstof verliezen optreden. Goed onderhoud van de graszode om vernieuwing te voorkomen is dus van belang.
- Bemesting wordt vaak uitgesteld vanwege onvoldoende draagkracht van de bodem in het voorjaar. Wanneer echter meer droogte en hitteperiodes voorkomen zal het gras minder groeien en minder stikstof opnemen. Hoe later in het seizoen de bemesting, hoe groter de kans dat de stikstof niet tijdig mineraliseert voor gewasopname, wat leidt tot een hoger nitraatstikstofresidu. De mest kan het gras zelfs verbranden. Als de mest opdroogt kan dit ook leiden tot bevuiling van een volgende snede.

Uit de analyses van Kringloopwijzer gegevens van melkveebedrijven aangesloten bij vereniging Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers (Eekelder and Hilhorst, 2021) blijkt dat door het slechte groeiseizoen stikstof- en fosfaatoverschotten in 2018 de hoogste waren uit de looptijd van het monitoringsproject (2013-2020). De droogte veroorzaakte lage ruwvoeropbrengsten, met als gevolg hoge bodemoverschotten en een slechte benutting van stikstof en fosfaat.

De invloed van droogte is ook terug te zien in nitraatconcentraties in grond- en oppervlaktewater; na 2017 steeg de nitraatconcentratie in uitspoelings- en slootwater op landbouwbedrijven, ondanks een dalende trend in de periode ervoor (RIVM, 2020). De ongunstige invloed van droogte op nitraatconcentraties heeft 3 oorzaken; (1) een lagere stikstofbenutting door gewassen, (2) minder afbraak van nitraat door denitrificatie, waardoor in de winter meer nitraat kan uitspoelen, en (3) minder verdunning van het uitspoelingswater, waardoor de concentratie toeneemt (zgn. 'indampingseffect').

Ammoniakemissie

Mogelijkheden voor beweiding kunnen door een toename in weersextremen beperkter worden. Bij droogte en hittegolven kunnen dieren mogelijk beter in de stal verblijven i.v.m. het volledig stilvallen van de grasgroei en hittestress, en bij extreme neerslag is de draagkracht van de bodem beperkt en is er risico op vertrappen van de graszode. Wanneer minder beweiding kan plaatsvinden beperkt dit ook de voordelen van beweiding, zoals een lagere ammoniakemissie (Nawara et al., 2021). In de studie van Eekelder and Hilhorst (2021) werd echter geen invloed gevonden van de verandering in het aantal uren weidegang op de ammoniakemissie per bedrijf. Daarentegen geeft verlenging van het groeiseizoen door klimaatverandering potentieel meer weidedagen en daarmee een voordeel in de reductie van ammoniakemissie.

Broeikasgasemissies

Broeikasgasemissies van bedrijven in de Achterhoek stegen in 2018 en 2019 t.o.v. voorgaande jaren (ondank een neerwaartse trend in 2013-2020; Eekelder and Hilhorst, 2021). Volgens de auteurs was dit deels veroorzaakt door de droogte: omdat bedrijven door droogte geen ruwvoer meer voorradig hadden werd overgegaan op voeraankoop, waardoor met name in 2019 de emissies uit aanvoer van (ruw)voer stegen. Dit werd ook beschreven voor Koeien en Kansen bedrijven: in 2018 kon het gebrek aan ruwvoer nog worden

voorzien uit eigen voorraad, maar in 2019 werd meer krachtvoer en mais aangevoerd waardoor de emissies uit aanvoerbronnen gemiddeld 9% hoger lagen⁸.

3.3 Verschillen tussen bedrijven

Effecten van klimaatverandering zijn afhankelijk van de locatie, context en management van het bedrijf, waardoor klimaatrisico's sterk kunnen variëren tussen bedrijven. Gevolgen van de extreme droogte in 2018 lieten bijvoorbeeld grote verschillen zien in effecten op Koeien & Kansen bedrijven (De Haan *et al.*, 2019; WEcR, 2018). In 2019 traden ook regionale verschillen op omdat vooral het oosten van het land te kampen had met een groot neerslagtekort⁹. In 2020 waren er minder grote regionale verschillen tussen de bedrijven, maar lagen grasopbrengsten fors lager doordat de droogte al vroeg in het voorjaar intrad en grasgroei traag op gang kwam¹⁰. In 2022 was de derving in grasopbrengsten door droogte minder groot in het midden en noorden van het land minder groot dan in het zuiden, oosten en westen.

Voor bepaalde regio's en grondsoorten zijn logischerwijs specifieke effecten van klimaatverandering te verwachten. Voor bedrijven op zandgrond is er een groter risico op droogte, in riviereengebieden meer risico op vernatting en wateroverlast, en in kustgebieden meer risico op verzilting. Bedrijven op veen hebben minder direct last van droogte⁶, maar wel kan een versnelde veenafbraak plaatsvinden.

Er kunnen echter ook grote verschillen zijn binnen een regio, en zelfs binnen een bedrijf of perceel. Daarnaast kunnen verschillen in lokale neerslagpatronen en neerslagtekorten verschillen in effecten op bedrijven veroorzaken (De Haan *et al.*, 2019). Reeds getroffen adaptatiemaatregelen kunnen invloed hebben op de kwetsbaarheid van bedrijven (Reidsma *et al.*, 2010). Echter vanwege de verschillen in klimaatrisico's tussen locaties en bedrijfstypes is de effectiviteit van adaptatiemaatregelen bedrijfsspecifiek van aard. Adaptatiemaatregelen moeten dus worden afgestemd op bedrijfsspecifieke klimaatrisico's, en de omvang en economische situatie van het bedrijf (EAA, 2019). Ook in het Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw wordt daarom een regionale benadering aanbevolen (LNV, 2020). Hier is voor de Nederlandse melkveehouderij echter nog weinig onderzoek naar gedaan. Volgens Schaap *et al.* (2014) zijn bedrijven kwetsbaarder naarmate ze meer gespecialiseerd zijn. Volgens Paas *et al.* (2016) kunnen middelgrote bedrijven zich beter aanpassen aan klimaat- en sociaaleconomische verandering dan grote bedrijven, omdat middelgrote bedrijven nog niet optimaal efficiënt opereren en dus ruimte voor verbetering hebben i.t.t. grotere bedrijven. Verwacht wordt dat grote bedrijven meer baat hebben bij nieuwe technologische ontwikkelingen.

Ook op dierniveau kunnen er verschillen zijn in de weerbaarheid van dieren door verschillen in genetische eigenschappen, bv. voor wat betreft functionele levensduur en ziekteresistentie. Weerbaarheid eigenschappen blijken veelal een lage overerfbaarheid te hebben en nemen af met stijgende melkproductie (Mirkena *et al.*, 2010; Pritchard *et al.*, 2013). Vanwege de mogelijk antagonistische (elkaar tegenwerkende) genetische correlaties tussen weerbaarheid en melkproductieniveau kunnen fokkerijstrategieën van belang zijn, bijvoorbeeld het gebruik van adaptieve genen in lokale rassen voor commerciële rassen (Strandén *et al.*, 2019).

⁸ <https://www.wur.nl/nl/show/grote-variantie-in-broeikasgasemissie-op-koeien-kansen-bedrijven.htm>

⁹ <https://www.wur.nl/nl/nieuws/meer-en-grotere-verschillen-in-gewasopbrengst-in-2019.htm>

¹⁰ <https://www.wur.nl/nl/nieuws/grasopbrengsten-in-2020-fors-lager-door-extreem-droog-voorjaar.htm>

4 Aanpassen aan klimaatverandering

Klimaatadaptatie wordt door de IPCC gedefinieerd als 'het proces van aanpassen aan het huidige of verwachte klimaat en effecten ervan, om schade te verminderen of kansen te benutten' (IPCC, 2022). Het toepassen van klimaatadaptatiemaatregelen op melkveebedrijven zal de kwetsbaarheid (blootstelling of gevoeligheid) voor klimaatverandering verminderen, negatieve gevolgen van impacts verkleinen (beter herstellen of aanpassen) en kansen door veranderingen in het klimaat benutten (NAS, 2016). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen reactieve, incrementele en transformatieve adaptatie. Bij reactieve adaptatie wordt de schade tijdens klimaatextremen zoveel mogelijk beperkt (bv. beregenen). Bij incrementele adaptatie worden aanpassingen gemaakt waarbij het bestaande systeem en haar functies worden behouden, terwijl bij transformatieve adaptatie de fundamentele kenmerken van het systeem worden veranderd (IPCC, 2022). In de volgende paragrafen worden adaptatiemaatregelen beschreven uit nationale en internationale literatuur, potentieel geschikt voor melkveebedrijven in de Achterhoek.

4.1 Waterbeheer

Om veranderingen in het klimaat het hoofd te kunnen bieden moet Nederland in de eerste plaats op landelijk niveau de waterhuishouding op orde hebben. De Waterschappen en de landbouw zijn verantwoordelijk voor een goede regulatie van de aan- en afvoer van water. Voor de Waterschappen is 'Waterbeheer 21e eeuw' (WB21) vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het sturende beleidsinstrument met als kernpunten veiligheid, wateroverlast en watertekort (www.helpdeskwater.nl). Om veiligheid te creëren en schade door wateroverlast of droogte te voorkomen of beperken, heeft de Commissie WB21 een drietrapsstrategie: (1) Overtollig water zoveel mogelijk bovenstrooms vasthouden in de bodem en in het oppervlaktewater; (2) Zo nodig water tijdelijk bergen in retentiegebieden langs de waterlopen; (3) Wanneer 1 en 2 te weinig opleveren, water afvoeren naar elders of, als dat niet kan, het water opvangen in gebieden die gecontroleerd onder water gezet kunnen worden.

Vanuit het perspectief van klimaatadaptatie is het voor landbouwbedrijven van belang om ook zelf maatregelen te nemen waarmee het risico op vernatting en droogte verder beperkt wordt. In diverse Nederlandse projecten zijn al maatregelen geïdentificeerd die bijdragen aan het vasthouden en afvoeren van water, het vergroten van de vochtbeschikbaarheid voor het gewas en het bergen van water. Een samenvatting van de maatregelen is gegeven in Tabel 4.1 en worden onder de tabel verder toegelicht.

In het programma Lumbricus (programmalumbricus.nl) is gewerkt aan het klimaatrobuust inrichten en beheren van stroomgebieden op de hogere zandgronden. Voor wat betreft waterbeheer zijn innovatieve middelen ingezet op perceelsniveau, die leiden tot én meer en beter water vasthouden in het watersysteem en tot een betere watervoorziening van het gewas. Het ging onder andere om een slimme stuw SAWAX en Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) met sub-irrigatie. Voor automatische aansturing van het KAD-systeem werd gebruik gemaakt van online meetgegevens betreffende de vochtvoorziening in percelen en de weersverwachting om tijdig water vast te kunnen houden, aan te vullen of af te voeren. Ook is een pilot uitgevoerd naar het hergebruik van effluent uit een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) met sub-irrigatie voor de vochtvoorziening van een maïsperceel te Haaksbergen (Bartholomeus *et al.*, 2016).

In het project Landbouw op Peil voor Oost-Nederland (2010-2015) zijn maatregelen ingezet en gemonitord op 15 praktijkbedrijven in het kader van veranderende klimaatomstandigheden (Staarink *et al.*, 2016)¹¹. Het bleek echter nog lastig te kwantificeren wat het effect is van maatregelen op de technische en economische bedrijfsresultaten. Ook moeten er wegen gevonden worden om waterbeheer met meer maatwerk uit te voeren, zodat zowel aan de doelen van de waterbeheerder als de wensen van de landbouw tegemoet gekomen wordt.

¹¹ Zie ook maatregelenboekje: https://www.aequator.nl/wp-content/uploads/2017/11/maatregelenboekje_digitaal_spreads.pdf

Tabel 4.1 Waterbeheermaatregelen die bijdragen aan het vasthouden en afvoeren van water, het vergroten van de vochtbeschikbaarheid voor het gewas of het bergen van water.

Maatregel	Toelichting
<i>Vasthouden en afvoer neerslag</i>	
Egaliseren of juist bol leggen van percelen	Aanpassen ligging maaiveld om respectievelijk het vasthouden of afvoeren van neerslag te bevorderen.
'Boeren' stuwen	Stuwen waarmee boeren zelf de ontwateringsbasis kunnen instellen om water vast te houden (waterconservering) of versneld af te voeren (verminderen wateroverlast).
Ondiepe nauwere drainage	Drainbuizen die ondieper liggen en een kleinere drainafstand hebben dan traditionele diep gelegen drains om de waterafvoer te vergroten, met minder risico op extra verdroging.
Regelbare drainage	Bij samengestelde regelbare drainage of peilgestuurde drainage wordt de ontwateringsbasis ingesteld in een 'regelput' waar de drains in samenkomen. Doel is om overtollig, ondiep grondwater niet meteen af te voeren, maar langer vast te houden in de bodem.
Dynamisch slootpeilbeheer	Met peilbeheer continu inspelen op weersomstandigheden, bodemvochtgehalte en variaties in grondwaterstanden in peilbeheerste gebieden (i.t.t. regulier peilbeheer met een vast hoger peil in de zomer en vast lager peil in de winter). Het kan worden toegepast ter preventie van droogteschade of om wateroverlast te voorkomen.
<i>Vergroten vochtbeschikbaarheid gewas</i>	
Beregening	Additionele aanvoer van grond- of oppervlaktewater voor oppervlakkige besproeiing of druppelirrigatie voor het opheffen van droogte.
Subirrigatie met (regelbare) drainage	Drainbuizen die onder slootpeil liggen en direct of indirect via een waterreservoir (regelput) gevoed worden vanuit het oppervlaktewater, met als doel om via een stijging van het grondwaterniveau de vochtbeschikbaarheid van het gewas te verbeteren. Daarbij worden de drainagebasis en mate van infiltratie respectievelijk bepaald door het oppervlaktewaterpeil of het peil in een regelput.
Extra wateraanvoer	Wateraanvoer van buiten de landbouw voor infiltratie in de bodem, bv. spoelwater van een water winstation, spoel/spuiwater van een RWZI
<i>Water bergen bij regionaal overschot</i>	
'Boeren'-berging	Bergen van water op landbouwgrond (bij voorkeur graspercelen) door deze onder water te zetten (inundatie). Inundatie in het groeiseizoen geeft verlies aan grasproductie.

Egaliseren of juist bol leggen van percelen

Melkveehouders kunnen met waterbeheermaatregelen extra water vasthouden of afvoeren en met het toepassen van beregening de waterbeschikbaarheid vergroten. Voor wat betreft het vasthouden en afvoeren van neerslag is het in de eerste plaats van belang om de maaiveldligging op orde te hebben, in zoverre hier mogelijkheden toe zijn (Landbouw op peil, 2014). Zo kan een dun humeus dek een beperking zijn om de vlakligging op zandgrond (jonge ontginningsgrond) te verbeteren. Voorkomen moet worden dat de humusarme ondergrond aan de oppervlakte gebracht wordt, omdat dit de droogtegevoeligheid aanzienlijk versterkt. Een vlakke maaiveldligging zorgt voor meer infiltratie van neerslag in de bodem en een bolle ligging zorgt voor meer oppervlakkige afvoer. Dit laatste is gewenst wanneer de grondwaterstand relatief hoog is en snel vernatting optreedt.

'Boeren' stuwen

Met 'Boeren' stuwen of LOP-stuwen (LandbouwOntwikkelingsPlan) kunnen boeren zelf de ontwateringsbasis van sloten instellen om water vast te houden (waterconservering) of versneld af te voeren (verminderen wateroverlast). In vrij afwaterende gebieden (veelal zandgrond) kan met deze stuwjes vooral de voorjaarsgrondwaterstand verhoogd worden en dat geeft minder risico op groeireductie vroeg in het groeiseizoen. Het is hierbij van belang om niet te snel in het voorjaar het stuwpeil te verlagen, omdat anders het effect gering is. Er moet bij het verlagen van het stuwpeil niet alleen gekeken worden naar de mate van vernatting van het maaiveld (vaak zeer tijdelijk), maar ook naar de hoogte van de grondwaterstand. Alleen bij een substantiële verhoging van de grondwaterstand wordt de vochtbeschikbaarheid vergroot door (extra) capillaire opstijging.

Ondiepe nauwere drainage

Op gronden met relatief hoge grondwaterstanden waar vrij snel vernatting kan optreden, kan het risico op vernatting verkleind worden door drainbuizen aan te leggen. Traditioneel liggen deze relatief diep om de drainagebasis sterk te verlagen.

Met drainbuizen die ondieper liggen en een kleinere drainafstand hebben wordt weliswaar de drainagebasis minder verlaagd, maar wel de waterafvoer vergroot zonder dat het risico op extra droogte sterk vergroot.

Regelbare drainage

Regelbare drainage of peilgestuurde drainage of klimaatadaptieve drainage (KAD) is een geavanceerde maatregel om overtollig, ondiep grondwater niet meteen af te voeren, maar langer vast te houden in de bodem. Bij deze vorm van drainage wordt de ontwateringsbasis ingesteld in een 'regelput' waar de drains in samenkomen (<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/regelbare-drainage>, Stuyt, 2013).

Dynamisch peilbeheer

In oppervlaktewater dat door waterschappen wordt beheerd wordt vaak een verlaagd winterpeil en een verhoogd zomerpeil gehanteerd ('regulier peilbeheer'). Met dynamisch peilbeheer kan in peilbeheerste gebieden met permanent watervoerende sloten beter ingespeeld worden op veranderende weersomstandigheden, het bodemvochtgehalte en variaties in grondwaterstanden (<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/dynamisch-peilbeheer>). Het wordt toegepast om droogteschade te verminderen of om wateroverlast te voorkomen. In sloten met eigen beheer kan met stuwtjes en eventueel pompen het slootpeil verder aangepast worden op de weersomstandigheden om de ontwateringsbasis te beïnvloeden.

Beregening

In de afgelopen periode is fors geïnvesteerd in beregening. Voor BIN bedrijven liet Van Asseldonk *et al.* (2021) zien dat de beregeningscapaciteit is gestegen van 60 miljoen m³ in 2003 naar 106 miljoen m³ in 2019, en dat de kosten voor beregening in 2018 en 2019 ongeveer 3000 euro hoger lagen per melkveebedrijf dan in vier referentie jaren ervoor. Melkveehouders op zuidelijke zandgebieden beregenen substantieel meer dan melkveehouders in andere zandgebieden. Ook op oostelijk zand is het totale waterverbruik in 2018 en 2019 fors gestegen.

Door beregening toe te passen kan de vochtbeschikbaarheid vergroot worden, door middel van oppervlakkige besproeiing (haspel of pivot sproeiboom) of druppelirrigatie (<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/beregening>). Voor een efficiënte waterbenutting is inzicht nodig in waar, wanneer en hoeveel te beregenen. Factoren die dit bepalen hebben betrekking op bodem, hydrologie, gewas en weer. Met kennis hiervan is enerzijds het beregeningsmoment gemakkelijker te herkennen en geeft het anderzijds inzicht in de gewenste beregeningsgift. Voordat beregening daadwerkelijk ingezet wordt is het raadzaam om na te denken over de kosten en baten.

Druppelirrigatie wordt de laatste jaren steeds meer toegepast en is vooral interessant voor hoog salderende gewassen, vanwege de relatief hoge kosten voor het gebruik van materiaal. Met druppelirrigatie worden de bovengrondse verliezen bij toediening weliswaar verkleind, echter de verliezen in de vorm van doorlekken kunnen worden vergroot wanneer de waterdosering niet goed afgestemd is op de actuele bodemvochttoestand en de behoefte van het gewas.

Subirrigatie met (regelbare) drainage

In peilbeheerste gebieden bij een voldoende beschikbaarheid van oppervlaktewater kan als alternatief voor beregening subirrigatie worden toegepast. Dit zijn drainbuizen die onder slootpeil liggen en direct of indirect via een waterreservoir (regelput) gevoed worden vanuit het oppervlaktewater, met als doel om via een stijging van het grondwaterniveau de vochtbeschikbaarheid van het gewas te verbeteren. Daarbij worden de drainagebasis en mate van infiltratie respectievelijk bepaald door het oppervlaktewaterpeil of het peil in een regelput.

Extra wateraanvoer

Als alternatief voor beregeningswater dat door de toenemende wateronttrekking meer onder druk komt te staan, wordt gekeken naar het gebruik van gezuiverd restwater uit de industrie en RWZI-effluent om de

regionale zelfvoorziening in de zoetwatervraag te verbeteren

(<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/aanpassen-aan-klimaatverandering/hergebruik-van-effluent>). Door Cirkel *et al.* (2017) is onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van effluent als watervoorziening in de landbouw.

Een belangrijke vraag hierbij is welke risico dit met zich meebrengt voor wat betreft de aard en concentraties van de in het effluent aanwezige stoffen en de route die deze stoffen afleggen na irrigatie.

In 2010 is in Haaksbergen (Waterschap Vechtstromen) een proef gestart met subirrigatie van RWZI-effluent in een landbouwperceel met Klimaat Adaptieve Drainage (KAD) waar naar zowel de effecten op waterkwaliteit als –kwaliteit gekeken is (Bartholomeus *et al.*, 2016). Ondergrondse infiltratie door middel van sub-irrigatie had evidente kwantitatieve voordelen voor wat betreft het op peil houden of verhogen van de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte.

'Boeren'-berging

Op het moment dat er een groot wateroverschot is kan het gewenst zijn om regionaal landbouwgrond in te zetten voor het bergen van water. Maatregelen om meer water vast te houden kunnen conflicteren met het voorkomen van vernatting ten tijde van neerslagpieken doordat de afvoercapaciteit verkleind is. Hierdoor kan (vooral) in beekdalen landbouwgrond onder water lopen (inundatie). Het nadeel door inundatie op grasland op melkveebedrijven is berekend door Hoving *et al.* (2013). Op basis van deze berekeningen is een programma gemaakt dat de financiële schade kwantificeert (SchadeWijzer Inundatie - WUR).

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Het egaliseren of juist bolleggen van het maaiveld hangt erg van de omstandigheden op een bedrijf af. Het is in het algemeen bedoeld om plasvorming te voorkomen, daar waar gemakkelijk water blijft staan, of om de waterafvoer via het maaiveld te bevorderen. Dit laatste is vooral relevant op klei- en veengrond, waar sneller vernatting optreedt. Met het verbeteren van de vlakligging kan voorkomen worden dat neerslag de grond intrekt voordat het naar een laagte loopt. In een stroomdal of op een heuvelrug met veel glooiing in het landschap is het vlakleggen van percelen minder snel aan de orde en bovendien mag de landschappelijke waarde niet aangetast worden (bestemmingsplan). Gewaarschuwd wordt dat snel de structuur van de grond beschadigd wordt en dan geeft dat de daarop volgende 10 jaar een lagere opbrengst ('houd de vruchtbare grond boven' en 'houd de structuur en doorlatendheid van de bodem op orde'). Ook is een goede zaaibedbereiding van belang. Het gebruik van een vorenpakker (bv. cambridgerol) achter de ploeg geeft een goede compactie van de geploegde bouwvoor, met daardoor na zaaien een betere kieming en aansluiting van de kiemplant.

Het toepassen van boeren stuwen en dynamisch peilbeheer is alleen mogelijk bij wateraanvoer. Voor het plaatsen en toepassen van boerenstuwen kan het waterschap om advies gevraagd worden. Het is lastig om te bepalen wanneer je in het vroege voorjaar juist wel of niet water moet laten weglopen:

- Wel, om vroeg in het jaar op grasland organische mest uit te kunnen rijden, kunstmest te strooien en een vroege eerste snede en extra groeidagen (langer groeiseizoen) te realiseren. Daarbij warmt de bodem eerder op als deze minder nat is, waardoor grasgroei eerder start.
- Niet, om langer van een hogere grondwaterstand te profiteren.

In het algemeen is de ervaring dat te snel in het vroege voorjaar stuwtjes omlaag worden gezet. Door klimaatverandering komt droogte in het voorjaar vaker voor en is het de afweging om in te zetten op een vroege productie met een verhoogd risico op droogte of een vertraagde productie met een verminderd risico op droogte. Voor aanpassing van het stuwpeil is de aanbeveling om de grondwaterstand van de aanliggende percelen te monitoren. Wanneer deze extreem hoog is dan is water tijdig afvoeren eerder aan de orde dan bij lagere grondwaterstanden waarbij sneller voldoende draagkracht wordt bereikt en eerder het profijt van capillaire opstijging verloren gaat. Ook in de afweging om op droogtegevoelige gronden sloten te dempen dient het grondwaterverloop leidend te zijn, zodat het risico op ernstige vernatting wordt vermeden. Een voordeel van het dempen van sloten is dat dit extra landbouwgrond oplevert. Geopperd is dat een flauwe sloot (wadi) een oplossing kan zijn voor het opvangen, infiltreren en vertraagd afvoeren van piekbuien met veel water. Deze laagtes zijn te gebruiken als blijvend grasland en kunnen tevens dienst doen als 'Boeren'-berging.

Bij het toepassen van drainage gaat de voorkeur uit naar het kunnen dichtzetten van de drains, vooral in de zomer. Dit betreft dus de regelbare drainage. In de overweging om dit toe te passen moet ook gekeken worden naar het risico op dichtslippen van de drains en de regelput.

Voor wat betreft het vergroten van de vochtbeschikbaarheid door middel van beregening, bestaat behoefte aan beregeningsadvies. De kernvraag hierbij is waar, wanneer en hoeveel beregenen, echter er zijn ook vragen over de effectiviteit van beregening en de kosten en baten. Enkele projectdeelnemers maken gebruik van BeregeningsSignaal van de ZLTO en dit is volgens hen 'vooral goed voor de bewustwording'. Het betreffende programma zal in 2022 in vernieuwde vorm worden aangeboden door LTO-Bedrijven. Op het dossier Groen Kennisnet staat een factsheet 'Handleiding Beregeningsadvies' van WLR. Aangezien de beschikbaarheid van water onder druk staat is het niet uit te sluiten dat er op termijn een quotering van het grondwatergebruik voor beregening gaat komen.

In de nabije omgeving van De Marke zijn sloten verondiept en verbreed om meer water te kunnen infiltreren. Een andere mogelijke innovatieve maatregel is om diepe drainbuizen onder een perceel aan te leggen om hiermee in de winter oppervlaktewater te infiltreren in de buizen en het grondwater aan te vullen. Dit gaat om het diepere grondwater en is dus niet rechtstreeks beschikbaar als water voor landbouwkundige productie, maar kan worden opgepompt voor irrigatie of andere doeleinden.

In het algemeen is het van belang om zoveel mogelijk water in de toplaag van de bodem te bergen, dus om de bodem als buffer te gebruiken. Het Waterschap Rijn en IJssel heeft zich als doel gesteld om 100 mm per jaar meer aan neerslag vast te houden. Het advies is om adaptatiemaatregelen te combineren met de doelen die de bedrijven zich zelf stellen en te bepalen op welk deel van het bedrijf deze het best toe te passen zijn. Ook kunnen bedrijven met het Waterschap bespreken welke watermaatregelen te realiseren zijn, zeker als er water aangevoerd kan worden.

4.2 Bodem

De bodemkwaliteit speelt een grote rol in de mate van vochtlevering voor gewassen en infiltratie van neerslag. De textuur van de bodem is een gegeven, maar met maatregelen kan de kwaliteit van de bodem wel verbeterd worden. Indicatoren voor een goede bodemkwaliteit hangen af van specifieke vormen van landgebruik, bodemtypen en doelen van de beoordeling. Ze hebben betrekking op organische stof, de fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit en algemene visueel te beoordelen kenmerken (Hanegraaf *et al.*, 2019). Bodemleven is een resultante van het verbeteren van bodemkwaliteit en toename van bodemleven draagt ook bij aan het verbeteren van bodemkwaliteit. Via bodemleven hebben maatregelen een zichzelf versterkend effect. Omgekeerd kunnen managementkeuzes die bodemleven benadelen de bodemkwaliteit versneld verslechteren.

Een samenvatting van maatregelen die bijdragen aan het verbeteren van de bodemkwaliteit en vochtleverend vermogen staat in Tabel 4.2.

Bodemverdichting en structuurbederf voorkomen

Bodemmaatregelen dienen in de eerste plaats gericht te zijn op een goede bodemstructuur ten behoeve van doorwortelbaarheid (diepte en intensiteit), waterinfiltratie en vochtbeschikbaarheid. Daarbij dient in de eerste plaats gezorgd te worden voor een goede ontwatering. Door berijding met machines of beweiding met vee treedt op minerale gronden bij een onvoldoende ontwatering snel structuurbederf op door mechanische schade op aan de aggregaatstructuur van de bovengrond.

Door belasting van de bodem met zware machines met een te hoge wiellast is (zeker onder natte of vochtige omstandigheden) is het risico op verdichting van de bovengrond en de ondergrond onder de bouwvoor groot. Volgens Akker *et al.* (2013) blijken de meeste gronden in Nederland een matig tot zeer groot risico op ondergrondverdichting te hebben, wat bepaald wordt door bodemeigenschappen en landgebruik. Bij bodemverdichting vermindert het poriënvolume, waardoor de doorlatendheid en het vochtbergend vermogen van de bodem afneemt en het risico op wateroverlast en droogte vergroot wordt.

Het risico op structuurbederf en bodemverdichting wordt verminderd door niet met zware apparatuur op te vochtige grond te rijden, de grondbewerking te verminderen en niet-kerende grondbewerking toe te passen. Dit laatste (NKG) vraagt wel om een aangepaste gewasbescherming.

Tabel 4.2 *Maatregelen die bijdragen aan verbeteren van de bodemkwaliteit ten behoeve van vochtlevering voor gewassen en infiltratie van neerslag.*

Maatregel	Toelichting
Bodemverdichting en structuurbederf voorkomen	Voorkomen van bodemverdichting en structuurbederf: niet rijden met zware apparatuur op te vochtige grond, gebruik van bredere banden met lage bandenspanning, verminderen grondbewerking en toepassen van niet-kerende grondbewerking.
Storende lagen opheffen	Opheffen van storende lagen door middel van het mengen van bodemlagen om infiltratie van water en worteldiepte te bevorderen, bv. spitten, diepploegen of diepwoelen van de grond.
Bodemstructuur verbeteren	Verbeteren bodemstructuur t.b.v. doorwortelbaarheid (diepte en intensiteit), waterinfiltratie en vochtbeschikbaarheid.
Compactie bouwvoor vergroten	Gebruik van vorenpakker bij ploegen op zandgrond om compactie van de bouwvoor te vergroten.
Bodemchemie op peil houden	Bodemchemie op peil houden, vooral de zuurgraad. Een zure grond is niet gunstig voor bodemleven en de benutting van nutriënten en bevordert bodemverdichting (vooral op kleigrond).
Organische stof opbouwen en behouden	Opbouw en behoud van organische stof, vooral bij akkerbouwmatig geteelde gewassen. Maatregelen zijn o.a. snijmaïs in vruchtwisseling met gras i.p.v. continueelt, blijvend grasland, aanvoer mest en compost en gewasresten, minimale (niet kerende) grondbewerking, en voorkomen van braaklegging in de winter.

Storende lagen opheffen

Storende lagen kunnen opgeheven worden door middel van het mengen van bodemlagen door middel van bijvoorbeeld spitten, diepploegen of diepwoelen van de grond. Voorkomen is echter beter dan genezen, dus is het van belang onder natte omstandigheden te wachten totdat de bodem bekwaam is en dit ook als voorwaarde te stellen aan de loonwerker. Verdichting onder de bouwvoor is vrijwel niet op te heffen.

Bodemstructuur verbeteren

Een goede bodemstructuur kenmerkt zich door een kruimelstructuur met veel poriën welke gevormd wordt door stabiele bodemaggregaten die bestaan uit minerale bodemdeeltjes en organische stof (van Balen *et al.*, 2016) en verbetert de waterhuishouding, bewerkings- en bewortelingsmogelijkheden.

In het project Lumbricus werd onder andere gekeken naar het verbeteren van de bodemgezondheid door onderzoek naar bodemleven, bodemvruchtbaarheid en bodemstructuur. Zo werd bijvoorbeeld onderzocht in hoeverre het toepassen van Bokashi, of andere vormen van organisch materiaal, een positief effect heeft op de bodemgezondheid en het watervasthoudend vermogen van de bodem. Andere maatregelen die onderzocht werden waren b.v. klimaatadaptieve drainage, slimme stuwen en diepwortelende gewassen.

In het kader van klimaatadaptatie is aandacht voor de bodemkwaliteit cruciaal. In Landbouw op peil (2014) en op de website <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/bodem-als-buffer> staan maatregelen en vuistregels beschreven.

Compactie bouwvoor vergroten

Een te losse bodem na grondbewerking zorgt voor onvoldoende aansluiting van plantenwortels met de bodem en het sneller optreden van droogte. Bij ploegen op zandgrond wordt daarom aangeraden om een vorenpakker te gebruiken om de compactie van de bouwvoor te vergroten.

Bodemchemie op peil houden

Verder is het van belang om de bodemchemie op peil te houden, vooral de zuurgraad. Een zure grond is niet gunstig voor bodemleven en de benutting van nutriënten. Maak gebruik van bodemanalyses en het bemestingsadvies (www.bemestingsadvies.nl).

Opbouw en behoud organische stof

Bodemorganische stof vergroot direct en indirect de waterbeschikbaarheid in de bodem. Organische stof kan de waterbeschikbaarheid op leemhoudende zandgronden direct kan vergroten, vooral wanneer deze relatief

laag zijn. In Tabel 4.3 staat de extra waterbeschikbaarheid in schrale zandgronden afhankelijk van het organische stofpercentage van de bodem.

Tabel 4.3 *Extra waterbeschikbaarheid per 1 % organische stof in schrale zandgronden in een bouwvoor van 20 cm afhankelijk van het organische stofpercentage van de bodem (Bron: stowa Deltafact 'Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer').*

Organische stofpercentage (%)	Extra waterbeschikbaarheid (mm)
0,5 -1	3-4
1 - 3	2-3
>3	1

Een indirect effect van organische stof is een verlaging van de bulkdichtheid van bodems en daarmee de weerstand tegen penetratie door plantenwortels. Planten kunnen bij hogere organische stofgehalten niet alleen meer water uit een bepaalde wortelzone opnemen, maar deze wortelzone kan bovendien dikker worden waardoor opnieuw meer water beschikbaar komt.

De opbouw en het behoud van organische stof is vooral van belang voor akkerbouwmatig geteelde gewassen. Op melkveebedrijven betreft dit voornamelijk snijmaïs. Continuïteit van snijmaïs zorgt voor een achteruitgang van het organische stofgehalte. Door snijmaïs in nauwe vruchtwisseling met grasland te telen (1:3) wordt een balans gevonden tussen de daling van het organische stofgehalte in de bouwlandfase en de opbouw van organische stof in de graslandfase. Ook het telen van maïs ten behoeve van maïskolvenschroot (MKS) of corn cob mix (CCM) draagt bij aan het verbeteren van de bodem omdat een groter aandeel van de plant na de oogst op het land achterblijft. Overwogen kan worden om afhankelijk van de ruwvoervoorraad een deel van het snijmaïsareaal op het bedrijf als MKS of CCM te oogsten.

Verder kan het organische stofgehalte behouden of verhoogd worden met de aanvoer van organische mest, compost en bokashi, het verminderen van afbraakverliezen door minimale (niet kerende) grondbewerking, het voorkomen van braaklegging in de winter door het jaarrond verbouw van gewassen, het maximaal inbrengen van gewasresten in de bodem en streven naar blijvend grasland (zie Deltafact 'Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer':

<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/aanpassen-aan-klimaatverandering/belang-van-bodemorganische-stof>).

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Een goede bodemstructuur werkt zowel positief voor het voorkomen van vernatting als het verminderen van droogteschade. Tevens wordt de nutriëntenopname verbeterd. Dit geeft zodoende op meerdere vlakken voordeel. De vraag is hoe breng je de bodemstructuur in de praktijk op orde? In het algemeen kan gesteld worden dat bodembelasting met zware machines in combinatie met een hoge bandenspanning funest is en zoveel mogelijk vermeden dient te worden. Een voorbeeld van een lichtere machine is het gebruik van een sleepslangmachine ten opzichte van een traditionele mesttank. Echter, om tot een verbetering van de bodemstructuur te komen is meer nodig en dit vraagt in z'n algemeenheid veel aandacht en gevoel voor wat bij een bodem past, aangezien deze overall verschillend zijn. Dit heeft betrekking op de bodembewerking, maar ook op teelten die bij een bodem passen. Bij bijvoorbeeld het opheffen van storende lagen moet je goed weten wat je doet, aangezien hiermee de bodemstructuur ook verslechterd kan worden. Niet kerende grondbewerking geeft minder organische stofafbraak. Het onderwerken van groenbemestingsgewas voor het inzaaien van maïs wordt daarbij lastiger, maar kan door de groenbemester eerst te verkleinen en in de bodem te werken. Doodspuiten is zodoende niet noodzakelijk en dient vermeden te worden. Ook wordt de voorkeur gegeven aan mechanische onkruidbestrijding om de toepassing bestrijdingsmiddelen te reduceren.

Om te zien welke maatregelen effectief zijn is het leerzaam om binnen bedrijven en tussen bedrijven relatief goed en slecht presterende percelen te vergelijken en te benoemen in hoeverre de omstandigheden, het gebruik en het bodembeheer verschilt. Vragen die gesteld worden zijn:

- In hoeverre is bij blijvend grasland bodemverdichting (ook in diepere lagen) mechanisch op te heffen zonder schade aan de graszode?
- Wat kan bereikt worden met grassen die dieper wortelen zoals rietzwenkgras?

- Is de bouwvoor te verdikken (boven- of onderkant) om de worteldiepte te kunnen vergroten?
- Hoe verbeter je de bodemkwaliteit dieper in het profiel (bijvoorbeeld verhogen pH-waarde)?
- Wordt het bodemleven en in het bijzonder het aantal wormen door organische mest en compost gestimuleerd?
- Zo ja, zijn er verschillen in typen mest en op welke wormen heeft dit invloed?
- Hoe om te gaan met de toediening van drijfmest in relatie tot droogte

Voor wat betreft het verbeteren van de organische stofvoorziening in relatie tot de teelt van snijmaïs werd vanuit de kennisgroep toegevoegd, dat afhankelijk van de ruwvoerpositie, gekozen kan worden om een deel van het areaal maïs te bestemmen voor MKS en/of CCM zodat stro op het land achterblijft en bijdraagt aan de organische stofvoorziening. Percelen met MKS of CCM kunnen daarbij van jaar tot jaar rouleren over het maïsareaal.

4.3 Gras en weidegang

Voldoende beschikbaarheid van vocht is een voorwaarde voor een toename in groei door hogere temperaturen. Over het algemeen heeft grasland een grotere waterbehoefte per kg droge stof opbrengst dan de meeste akkerbouwmatig geteelde gewassen en is de waterbehoefte lager bij beweiding dan bij maaien van grasland door een lagere grashoogte (Gauly *et al.*, 2013).

Het optimaliseren van het waterbeheer en de bodemkwaliteit zijn belangrijke factoren in het bedrijfsmanagement voor het behoud van grasproductie, echter ook het graslandgebruik heeft hier grote invloed op. Vooral op droge zandgronden met een beperkte vochtbeschikbaarheid dient bij droogte de bemesting en grasoogst (maaien of weiden) zorgvuldig afgestemd te worden op de groeiomstandigheden.

Een samenvatting van maatregelen op het gebied van graslandmanagement en weidegang staat in Tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Maatregelen op het gebied van graslandmanagement en weidegang die bijdragen aan behoud van grasproductie bij langdurige droogte of hitte.*

Maatregel	Toelichting
Grasgroei monitoren	Monitor wekelijks de grasgroei ("farmwalk") om bij een gereduceerde groei het graslandmanagement tijdig aan te kunnen passen.
Tijdig uitscharen/opstallen bij lage grasgroei	Houd vee op stal wanneer door vochtgebrek of hitte de grasgroei volledig stil staat en droogtestress zichtbaar is.
Beweidingsregime aanpassen bij hitte	Bv. 's nachts weiden, zomerstalvoeren, siëstabeweiding, alleen koeien met lagere producties weiden, of volledig opstallen.
Voldoende stoppellengte aanhouden	Voldoende stoppellengte aanhouden bij het oogsten van maaisnedes.
Gebruik van droogteresistente grassen en kruiden	Inzaai van mengsels met droogteresistente grassen en kruiden, zoals kropbaar, rietzwem, klavers, weegbree en cichorei.
Geen zodenbemesting in droge grond	Zodenbemesting in droge grond geeft sleuven in de grond die open gaan staan, waardoor de bodemverdamping aanzienlijk toeneemt door een groter contactoppervlak.
Drijfmest vroeg uitrijden	Drijfmest grotendeels uitrijden in het voorjaar en vroeg in de zomer om uitrijden tijdens droge perioden te voorkomen. Dit zorgt tevens voor betere mestbenutting.

Farmwalk

Het verdient aanbeveling om de grasgroei wekelijks te monitoren ("farmwalk") en bij een gereduceerde groei (zeker op zandgrond) het graslandmanagement (weiden, maaien en bemesten) hier tijdig op aan te passen.

Opstallen / bemesting bij droogte

Het advies is om vee op stal te houden wanneer de groei door vochtgebrek of hitte volledig stil staat en droogtestress zichtbaar is. Vaak blijft vee onder deze omstandigheden te lang lopen, waardoor de grasmat schade oploopt door een onvoldoende bodembedekking. Ook maaien en het uitrijden van drijfmest zorgt

voor schade op het moment dat de groei stilstaat door extra rechtstreekse vochtverdamping vanuit de bodem.

Voldoende stoppellengte

Het van belang om een minimale stoppellengte aan te houden bij het oogsten van maaisnedes. Voor gras >6 cm en voor kruidenmengsels >7 cm.

Beweidingsregime aanpassen

Bij warmere periodes kan hittestress bij melkkoeien worden verminderd door beweidingsregimes aan te passen: 's nachts weiden, siësta beweiding, of alleen droge koeien of koeien met lagere producties weiden. Aanpassen van weidemanagement betekent veranderingen voor de koeien, terwijl je juist veranderingen zo geleidelijk mogelijk wilt doorvoeren voor optimaal comfort van de koeien. Wat ook wordt waargenomen is een verminderde voeropname 's nachts aangezien de koeien dan toch meer rusten dan vreten. Bij extremere warmte en zonnestraling is het uiteraard ook af te raden de lagere productiedieren naar buiten te doen, aangezien ook zij dan last zullen krijgen van hittestress. Opsplitsing van het koppel in meerdere groepen die wel of geen weidegang krijgen, vergt mogelijk aanpassingen in de bedrijfsvoering die extra kosten en/of arbeid met zich mee kunnen brengen. Het volledig opstallen bij hitte en/of droogte is ook een optie, dit is tegelijkertijd een maatregel om schade aan de grasmat te voorkomen (Gauly *et al.*, 2013; Henry *et al.*, 2018; Bagath *et al.*, 2019; Ji *et al.*, 2020). Het is bedrijfsafhankelijk in hoeverre men het weidemanagement kan aanpassen. Het ene bedrijf (of ondernemer) kan makkelijker het weidemanagement binnen zijn bedrijf aanpassen dan het andere bedrijf.

Gebruik van droogteresistente grassen en kruiden

Inzaai van mengsels met droogteresistente grassen en kruiden kan de droogteschade enigszins beperken. Voorbeelden zijn kropbaar, rietzwenk, klavers, weegbree en cichorei. Het vraagt echter extra aandacht om het aandeel kruiden op peil te houden (niet kwijtraken en niet laten overheersen) en het kan bij weiden de opname van vers gras-kruidenmengsel beïnvloeden. Meer informatie is gegeven in paragraaf 5.4.

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

De ervaring op De Marke is dat gewasverdamping het stijgen van de bodemtemperatuur dempt: bij hitte kan een slechte bodembedekking de bodem op 10 cm diepte wel met 5 graden extra opwarmen. V.w.b. stoppelhoogte is het de vraag welke hoogte gehanteerd zou moeten worden bij maaien onder relatief droge omstandigheden: aangegeven wordt dat bij maaien op 10-12 cm meer bladgroen behouden blijft, en dat korter maaien bij 7-8 cm juist zorgt voor een dichtere zode. Veel boeren maaien echter op 5 cm en dan is 7-8 cm al een behoorlijke winst. Aangegeven wordt dat door korter weiden koeien fanatieker gaan vreten: er is vooral opname in de ochtend en avond, en een dip in grasopname rond 4.00u in de ochtend. Teveel aan zon brengt ze overdag naar binnen.

4.4 Teeltmaatregelen

Met teeltmaatregelen kan de droogtegevoeligheid van gras en voedergewassen verminderd worden. Een samenvatting van teeltmaatregelen voor klimaatadaptatie staat in Tabel 4.5.

Groenbemester/vanggewas tijdig vernietigen

Voor akkerbouwmatige teelten is het belangrijk dat in het voorjaar bij kieming en opkomst van een gewas voldoende vocht beschikbaar is. Doordat de straling en daarmee de verdamping in het vroege voorjaar door klimaatverandering toeneemt (KNMI, 2021), droogt de onbegroeiende bovengrond sneller uit (directe bodemverdamping), met als risico een onvoldoende kieming en opkomst van het gewas. Vochtverlies uit de bovengrond (vooral op zandgrond) voor het inzaaien dient zoveel mogelijk voorkomen te worden door tijdig het (verplichte) groenbemestingsgewas te vernietigen en een niet kerende grondbewerking toe te passen. Mocht een groenbemester langer blijven staan om het voor de inzaai van het hoofdgewas (meestal snijmaïs) te oogsten, dan is het risico op droogte groot (wateropname vanggewas) en kan dit alleen worden opgeheven door te beregenen.

Tabel 4.5 *Teeltmaatregelen om risico's op productieverlies door droogte en hitte te verminderen.*

Maatregel	Toelichting
Groenbemester/vanggewas tijdig vernietigen	Tijdig voor inzaai van het hoofdgewas het (verplichte) groenbemester/vanggewas vernietigen om vochtverlies uit de bovengrond te voorkomen.
Aanpassen teelttechniek	Aanpassen teelttechniek voedergewassen, bv. lagere plantaantallen op droogtegevoelige percelen of het toepassen van ruitzaai voor een betere plantverdeling en gelijkmatigere bodembedekking.
Toepassen vanggewassen, onderzaai, strokenteelt	Helpt om in akkerbouwmatige teelten organisch stofgehalte op peil te houden.
Gewasdiversificatie en -rotatie	Meer diversiteit in het bouwplan van akkerbouwmatige teelten in tijd en ruimte, om risico's op oogstverliezen te spreiden en voor het verbeteren van de bodemkwaliteit. Bv. gewassen met verschillende oogst- en zaaidata, vruchtwisselingen met korte(re) teelten, dubbelteelten en mengteelten.
Adequate gewasbescherming	Adequate beheersing van ziekten, plagen en onkruiden in het huidige en veranderende klimaat en vitale rassen die relatief ziekte- en plaagbestendig zijn.
Adequate bemesting	Voldoende bemesten zorgt voor goede groei en minder stress tijdens droogte.

Aanpassen teelttechniek

Andere maatregelen om de droogtegevoeligheid in het voorjaar te verminderen zijn het hanteren van lagere plantaantallen (minder gewasverdamping) en mogelijk het toepassen van ruitzaai bij de teelt van snijmaïs. Bij ruitzaai halveert bij eenzelfde zaaidichtheid de afstand tussen de maïsrijen van 75 (standaard) naar 37,5 cm, echter staan de planten verder van elkaar, waardoor ze meer ruimte krijgen en de bodem gelijkmatiger bedekken. Dit kan de directe bodemverdamping verminderen, waardoor meer bodemvocht beschikbaar blijft voor gewastranspiratie. Uit onderzoek dat is uitgevoerd door het Landbouwcentrum Voedergewassen (LCV) in België bleek dat de beginontwikkeling bij zaaien in ruitverband beter was dan bij zaaien in rijen met een plantafstand van 75 cm (LCV, 2020). Dit wordt in het betreffende artikel geweten aan een betere beschikbaarheid van meststoffen, maar het zou ook geweten kunnen worden aan een betere vochtbeschikbaarheid of een combinatie hiervan. Het resultaat was een gelijke tot lichte meeropbrengst voor ruitzaai, door een hoger kolfaandeel, wat resulteerde in hogere zetmeelgehaltenes en VEM-waarden. Ook in een veldonderzoek op proefbedrijf Vredepeel werd bij ruitzaai een licht hogere drogestofopbrengst gemeten dan bij een standaard rijafstand van 75 cm (Klootwijk and van Schooten, 2020).

Vanggewas, onderzaai en strokenteelt

Het telen van een vanggewas, het toepassen van onderzaai van een vanggewas (snijmaïs) en strokenteelt helpt om het organische stofgehalte van de bovengrond op peil te houden. Dit is van belang voor een goede bodemstructuur, wat de grond beter bewortelbaar maakt en waardoor neerslag beter in de bodem infiltreert. Door een betere beworteling vergroot de worteldiepte en daarmee de vochtbeschikbaarheid.

Meer diversiteit in bouwplan

Ook een grotere diversiteit in het bouwplan van akkerbouwmatige teelten in tijd en ruimte, bv. vruchtwisselingen met korte(re) teelten, dubbelteelten, en mengteelten dragen bij aan een gezondere bodem en hogere organische stofontwikkeling. Gewasdiversificatie en -rotatie helpen ook om risico's op oogstverliezen te spreiden, aangezien verschillende gewassen verschillend reageren op weersomstandigheden.

Adequate beheersing van ziekten, plagen en onkruiden

Een adequate beheersing van ziekten, plagen en onkruiden, passend bij de gewaskeuze, rotaties en cultuurmaatregelen in het huidige en veranderende klimaat (De Vries *et al.*, 2018). Het risico op productie- en kwaliteitsverlies en de afhankelijkheid van chemische bestrijdingsmiddelen in akkerbouwmatige teelten kan verminderd worden door te kiezen voor vitale rassen die relatief ziekte- en plaagbestendig zijn en het vergroten van gewasdiversiteit (zie boven). Voor snijmaïs zijn dat rassen die goed scoren op stengelrot, builenbrand, maïskopbrand en bladvlekkenziekte (handboek snijmaïs). In maïs wordt onkruid grotendeels chemisch bestreden. De aanbeveling is om de chemische bestrijding te combineren met mechanische bestrijding om het middelengebruik te verminderen.

Adequate bemesting

Volgende en op het juiste moment bemesten is van belang voor een goede groei en minder stress tijdens droogte, met in het bijzonder aandacht voor de pH van de bodem. Voor wat betreft het toedienen van drijfmest op grasland is het advies om mest grotendeels in voorjaar en vroege zomer uit te rijden om te voorkomen dat in nog een substantieel aandeel van de organische mest in de zomer (met risico op droogte) uitgereden moet worden. Dit verhoogt tevens de mestbenutting, omdat de nawerking dan nog ten goede komt aan de daarop volgende sneden.

4.5 Gewaskeuze

Droogteschade betreft de directe en indirecte verliezen uitgedrukt in voederwaarde per kg drogestof (DS), nutriëntensamenstelling (gehalten aan nutriënten per kg DS), totale voederwaarde opbrengst per hectare en totale DS opbrengst. Vaak is droogteschade uiteindelijk een combinatie van een lagere voederwaarde, andere nutriëntensamenstelling en een lagere opbrengst. De effecten van droogte en hitte op deze aspecten kunnen verschillen tussen voedergewassen, welke variëren in droogte- en hiteresistentie en waterbehoefte. Voor een veehouder is het van belang welk aspect van droogteschade het grootste effect heeft op de bedrijfsvoering. Dit kan tussen melkveebedrijven verschillen, met name t.a.v. zelfvoorzieningsgraad voor ruwvoer. Voor bedrijven met een lage zelfvoorzieningsgraad kan de totale DS opbrengst zwaarder wegen dan de voederwaarde en nutriëntensamenstelling, om in voldoende ruwvoer te voorzien. Voor bedrijven met een hoge zelfvoorzieningsgraad kan daarentegen de voederwaarde en nutriëntensamenstelling zwaarder tellen dan de opbrengst. Bij voldoende ruwvoeropbrengst is het veel lastiger om gebreken in voederwaarde en nutriëntensamenstelling te compenseren via aangekocht voer. Dit is ook het geval wanneer de jongveeopfok uitbesteed wordt, omdat dan alle beschikbare ruwvoer aan de melkveestapel moet worden toegewezen.

Melkkoeien hebben een hogere nutriëntenbehoefte ten opzichte van jongvee en het is relatief ongunstig om op ruwvoer gebaseerde rantsoenen te voeren met een lage voederwaarde per kg drogestof (of per verzadigingswaarde eenheid) te voeren. Bedrijven met jongvee hebben meer mogelijkheden om te schuiven in de verdeling van ruwvoer met een relatief lage voederwaarde per kg drogestof over de veestapel (het beste ruwvoer naar hoog productieve dieren). Ditzelfde geldt ook voor bedrijven die de mogelijkheid hebben aan meerdere productiegroepen te huisvesten (hoog en lager productief melkvee) verschillende rantsoenen kunnen aanbieden.

Kortom, op basis van de gegeven bedrijfssituatie, ruwvoerbehoefte en nutriëntenbehoefte moet worden bekeken welke voedergewassen het best passen in het bouwplan. Verder wordt de keuze van voedergewassen tot op heden nog beperkt door de derogatie (80% grasland), en in de toekomst door het GLB-beleid en door het 7^e Actieprogramma Nitraatrichtlijn.

Een samenvatting van tactieken om in te spelen op klimaatverandering via gewaskeuze staat in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Gewaskeuze om in te spelen op een verlengd groeiseizoen, droogte en/of hitte.

Tactiek	Toelichting	Voorbeelden
Gewassen met een:		
- efficiënter watergebruik	Gebruik van gewassen met een efficiënter watergebruik	Snijmaïs, sorghum
- grotere droogteresistentie	Gebruik van gewassen of gewasvariëteiten die bij een lager bodemwaterpotentiaal vocht kunnen onttrekken, of met een vergrote wateropname door een dieper en/of sterker vertakt wortelstelsel	Kropaar, rode klaver, cichorei, luzerne, smalle weegbree, rietzwenkgras
- vroege lentegroei	Benutten van vanggewassen als ruwvoer of teelt van een graangewas voor GPS.	Snijrogge, Italiaans raigras, triticale
- lang doorgroeien in najaar	Met een gewas als voederbieten kan geprofiteerd worden van langere doorgroei in het najaar. Dit kan een deel van productieverlies in de zomer door droogte compenseren.	Voederbieten

Gewassen met efficiënter watergebruik of grotere droogteresistentie

Om het risico op schade door droogte te voorkomen kan gekozen worden voor een alternatief voedergewas dat meer droogteresistent is. De term droogteresistentie onderscheidt enerzijds de mogelijkheid van gewassen om bij watertekort een bepaalde mate van productie te handhaven en anderzijds het kunnen overleven bij langdurige droogte (Chapman and Augé, 1994; Volaire and Lelievre, 2001; Volaire, 2018). Vooral in aride en semi-aride gebieden zijn meerjarige gewassen of gewasvariëteiten in staat om met zomerrust een lange droge periode te doorstaan om daarna weer productief te worden. De grassen en voedergewassen die in Nederland toegepast worden beschermen zich tegen droogtestress door droogte te mijden. Volgens Chapman and Augé (1994) hebben droogtemijdende gewassen of variëteiten mechanismen die de wateropname maximaliseren, het waterverlies minimaliseren of beide combineren. De wateropname wordt gemaximaliseerd met een dieper en/of uitgebreider wortelsysteem. Het waterverlies wordt geminimaliseerd door huidmondjes te sluiten om watertranspiratie te verminderen tijdens de CO₂-uitwisseling en temperatuurregeling of met morfologische kenmerken zoals bladuitval en verminderde bladgrootte (bladkrullen).

Door de diverse aanpassingen aan droogte verschillen gewassen in hoeveelheid waterverbruik per hoeveelheid oogstbare biomassa. Uit een bakkenproef (Smid *et al.*, 1998) en een veldexperiment (Van der Schans, 1998) die zijn uitgevoerd in 1994-1996 in Gastel en Leende is het watergebruik voor verschillende voedergewassen gekwantificeerd. Hieruit blijkt dat maïs ongeveer twee keer zo efficiënt met water omgaat als Engels raigras. Ook van triticale en voederbieten is het watergebruik relatief efficiënt. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Watergebruik (liter/kg droge stof) volgens Smid *et al.* (1998) en Van der Schans (1998).

Gewas	Bakkenproef	Veldproeven
Maïs	175	240
Triticale	220	215
Bieten (voederbiet)	200	250
Engels raai	350-550	400
Rietzwenkgras	325	325
Luzerne	400-550	380

De grassen kropbaar en rietzwenkgras zijn relatief droogteresistent ten opzicht van Engels raigras, echter de mechanismen die hier aan ten grondslag liggen zijn verschillend. Uit onderzoek van Volaire en Lelièvre (2001) bleek dat kropbaar in staat is om bij een lager bodemwaterpotentiaal vocht te onttrekken en dat de membraanbeschadiging door uitdroging in overlevende weefsels meer vertraagd wordt. De droogteresistentie van rietzwenkgras wordt voornamelijk toegeschreven aan de ontwikkeling van een dieper wortelstelsel.

Ook kruidenrijk grasland staat steeds meer in de belangstelling in het kader van het vergroten van droogteresistentie en biodiversiteit. Kruiden als cichorei en rode klaver hebben een diep wortelende penwortel en zijn bij aanhoudende droogte langer in staat water op te nemen. Volgens Hoekstra *et al.* (2022) is bovendien de opbrengst van mengsels bestaande uit een combinatie van productieve grassen (Engels raigras en rietzwenk), klavers (rode en witte klaver) en kruiden (smalle weegbree en cichorei) hoger dan de individuele soorten uit de betreffende mengsels. Ook Grange *et al.* (2021) vonden voor mengsels met grassen, klavers en kruiden een hogere opbrengst. De opbrengst op jaarbasis bij zes soorten was bij een voldoende vochtvoorziening en droogte respectievelijk 20% en 23% hoger dan de gemiddelde opbrengsten van de betreffende zes monoculturen. Volgens Isbell *et al.* (2015) zorgt grasland met meer soorten bovendien voor een stabielere productie onder klimaatextremen dan een monocultuur.

Een verbeterde droogteresistentie van gewassen kan op verschillende manieren gerealiseerd worden:

- Gewasvariëteiten met een vergrote *elasticiteit of flexibiliteit* in groei tijdens droogte en een verminderde groeibeperking. Voor snijmaïs zijn dergelijke variëteiten in ontwikkeling en worden onder de betreffende kwalificatie verkocht. Het zijn rassen die het blad niet of minder krullen en huidmondjes niet of minder sluiten. Gedurende kortdurende droogtestress kan dit een goede strategie zijn, echter bij aanhoudende droogte zal op een gegeven moment het gewas volledig afhaken en zich niet meer kunnen herstellen. De betreffende rassen worden in Nederland nog niet

meegenomen in het Cultuur en Gebruikswaarden Onderzoek (CGO), waardoor zodoende nog weinig bekend is over hoe ze presteren ten opzichte van gangbare rassen.

- Gewassen met een *efficiënter watergebruik* door een ander metabolisme. Het bekendste voorbeeld hiervan is het verschil tussen C3-planten en C4-planten (Slack and Hatch, 1967)¹². C4-planten kunnen in tegenstelling tot C3-planten wel fotosynthese uitvoeren wanneer de huidmondjes gesloten zijn (de poriën in het blad die zich kunnen sluiten bij droogte en een hoog CO₂-gehalte). Hierdoor hebben C4-planten een hogere waterefficiëntie per hoeveelheid drogestofopbrengst dan C3-planten en kunnen daarmee in hete droge streken beter overleven. Bekende voorbeelden van gewassen die als voedergras worden geteeld zijn snijmaïs en sorghum.
- Gewassen die bij een *lager bodemwaterpotentiaal vocht kunnen opnemen*, zoals de grassoort kropaar. Het gewas wordt door droogte minder snel beperkt in wateropname en kan water langer vasthouden.
- Gewassen met een betere wateropname, een *diep en sterk vertakt wortelstelsel* voor een vergrote vochtbeschikbaarheid. Het betreft kruiden met diepe penwortel, zoals cichorei, rode klaver en luzerne of kruiden en grassoorten met een dieper en sterk vertakt wortelstelsel, zoals smalle weegbree en rietzwenkgras.

Gewassen met een vroege lentegroei

In de winter is er praktisch altijd een neerslagoverschot, waardoor de bodem in het voorjaar op veldcapaciteit is en de grondwaterstand relatief hoog. Met een vanggewas als ruwvoer of de teelt van graan voor GPS (bv. triticale) kan geprofiteerd worden van de vroege lentegroei en de relatief goede vochtvoorziening vanuit de winterperiode. Vanggewassen die zich het beste voor ruwvoerwinning lenen zijn snijrogge en Italiaans raaigras.

Nadelen zijn dat, door het langer laten groeien van deze vanggewassen, voor de start van de hoofdteelt reeds veel vocht onttrokken is (zie Aanpassing Teelttechniek) en de stikstofbeschikbaarheid lager is. Het vanggewas onttrekt stikstof en de mineralisatie van het ondergewerkte vanggewas komt later op gang. Het kunnen beregenen is vereist voor een goede kieming en ontwikkeling bij een neerslagtekort.

Granen of maïsrassen met een vroege ontwikkeling hebben minder risico op een verminderde aar- of kolfvorming en -vulling door lange droge en hete perioden midden in de zomer (eind juli begin augustus), zoals dat recent in 2018 en 2019 het geval was. Bovendien vergroten vroeg afrijpende maïsrassen de kans op een geslaagd vanggewas, doordat deze relatief vroeg in het najaar ingezaaid kunnen worden

Gewassen die langer doorgroeien in het najaar

Voorals voederbieten groeien lang door in het najaar. Dit kan een deel van productieverlies in de zomer door droogte compenseren. Nadelen kunnen zijn dat in een nat najaar de oogstzekerheid lager is, veel grond wordt mee geoogst en structuurbederf kan optreden.

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Als een keerzijde van meer maïsteelt wordt bodemvruchtbaarheid en achteruitgang van organische stofgehalte aangegeven. Verder kunnen bij voedergewassen met vroege lentegroei de kosten stijgen, en ben je afhankelijk van het weer – dit is niet te voorspellen wat goed uitpakt voor de boer of de grond. Ook voor gewassen die lang doorgroeien in het najaar geldt dat het weer niet te voorspellen is, met risico's op structuurbederf in relatief natte najaren. Verder hebben gewassen zoals snijmaïs weliswaar een lage waterbehoefte per kg DS, maar is dit voor organische stof opbouw niet aan te bevelen (graan wel).

Op proefbedrijf De Marke zijn veldbonen als wintergewas geteeld, maar met een lage opbrengst (4,5-5 ton). Daarom is een mengteelt met granen interessant, wat kan helpen bij droogte en ook biodiversiteit. De teelt is echter wel lastig, de ene is eerder rijp dan de ander. In een proef van Limagrain bleek dat bij lagere plantaantallen op de hogere zandkoppen per plant voldoende water beschikbaar was, met goede kolfvorming en voederwaarde. Echter kunnen er moeilijkheden ontstaan door onbedekte grond (gesuggereerd wordt dat een mengteelt dan beter is).

¹² Een C3 plant dankt haar naam aan het eerste tussenproduct van de fotosynthese (3-fosfoglyceraat, een molecuul met 3 koolstofatomen). Een C4-plant heeft als eerste een tussenproduct oxaalacetaat een verbinding met vier koolstofatomen.

4.6 Ruwvoermanagement en rantsoen

Tijdens periodes van hittestress kunnen aanpassingen worden gemaakt in ruwvoermanagement, voerregimes en rantsoensamenstelling om de nadelige effecten van hitte te verminderen, de energie- en nutriëntenopname te behouden, en warmteproductie als gevolg van de pensfermentatie te verminderen. Een samenvatting van maatregelen is opgenomen in Tabel 4.8.

Tabel 4.8 *Aanpassingen in ruwvoermanagement, voerregime en rantsoen om nadelige gevolgen van hitte te verminderen.*

Maatregel	Toelichting
<i>Ruwvoermanagement</i>	
Broei in kuilvoer voorkomen	Broeipreventie door het toepassen van goede landbouwpraktijk tijdens het inkuilen, bewaren en uitkuilen (voldoende voersnelheid, vlak snijvlak, etc.). Ook kunnen broeiremmers gebruikt worden.
Vaker voermengsels bereiden en aanbieden	Vaker verse voermengsels bereiden en aanbieden (min. 2x) bij hoge temperaturen vermindert de kans op broei aan het voerhek en pensverzuring (m.n. bij energierijke voermengsels).
<i>Voerregime</i>	
Vaker voeren	Vaker aanbieden van kleinere hoeveelheden voer (of vaker aanschuiven) vermindert de bezetting van het voerhek met als gevolg een grotere fysieke afstand tussen dieren en een betere warmteafgifte (afhankelijk van soort stal en bezetting).
Voertijdstippen aanpassen	Vervroegen van de voerbeurten naar de vroege ochtend.
<i>Rantsoenaanpassingen</i>	
Vergroten energiedichtheid rantsoen	Energiedichtheid (VEM per kg DS) van het rantsoen vergroten door een groter aandeel krachtvoer in het rantsoen of een groter aandeel kwalitatief hoogwaardig ruwvoer. Let op risico's voor pensverzuring.
Vetten toevoegen aan rantsoen	Toevoegen van vetten (energierijk, geen fermentatiewarmte) aan het rantsoen.
Voedingssupplementen verstrekken	Supplementen voeren om de impact van de hittestress op te vangen (bv. Se, Pro en prebiotica, Koper, Zink, gisten, gamma-aminobutyric acid, Vitaminen A en E e.a.)
Pensbuffer verstrekken	Toevoegen van pens pH-buffers (natriumbicarbonaat) aan het rantsoen om pensverzuring te voorkomen, in combinatie met groter aandeel krachtvoer in het rantsoen. Tevens wordt hiermee extra natrium verstrekt.
Samenstelling rantsoen droge koeien aanpassen	Energie en eiwitdichtheid verhogen, KAV verhogen, Ca binders eruit, supplementen zoals boven
Adequate waterversprekking	Veel en vers water aanbieden, bv. meer waterpunten aanleggen. Waterbakken twee tot drie keer per week schoonmaken bij matige hittestress en dagelijks bij hogere THI boven 68 omdat algen bij hogere temperaturen sneller groeien. Zorg ervoor dat 10% van de dieren tegelijk kan drinken. Zorg ook voor vers water bij kalveren.
Adequate biestverstrekking	Biest in koelkast bewaren en extra alert op adequate biest verstrekking aan de kalveren

Broei in kuilvoer voorkomen

Om de voeropname te bevorderen tijdens perioden van hitte moet allereerst het ruwvoermanagement op orde zijn. De voeropname kan worden bevorderd door het aanbieden van smakelijk voer dat vrij is van broei. Hoge omgevingstemperaturen vergroten de kans op broei van kuilvoer. Broeipreventie komt in feite neer op het toepassen van goede landbouwpraktijk tijdens het inkuilen, bewaren en uitkuilen:

- Snijvlak kuil op noorden situeren: Bij de aanleg van kuilen of de bouw van sleufsilos moet het snijvlak op het noorden worden gesitueerd waardoor er minder directe instraling is van zonlicht en de temperatuur lager blijft.
- Luchttoetreding in kuil verminderen: Bij het inkuilen moet worden gestreefd naar een hoge dichtheid van de kuil, wat de indringing van lucht vermindert, door goed vastrijden bij inkuilen, snel na aanleg luchtdicht afsluiten, en verminderen van de luchtindringing door toepassen van een gronddek of andere verzwaring van de kuilafdekking.
- Voldoende voersnelheid realiseren: Bij het aanleggen van kuilvoer bestemd voor bijvoeding in de zomer moet rekening worden gehouden met een voersnelheid van tenminste 2 meter per week. De breedte en hoogte van de kuil worden hierop aangepast.

- Broeiremmers toepassen: Broeiremmers (propionzuur) kunnen worden toegepast op het snijvlak van kuilen. Broeivorming kan ook worden voorkomen door het toevoegen van een broeieremmer aan het voermengsel, bijvoorbeeld van ammoniumpropionaat of propionzuur.
- Vlak snijvlak hanteren: Handhaven van een vlak snijvlak van de kuil.

In periodes van hoge temperaturen kan vaker aanbieden van kleinere hoeveelheden verse voermengsels de kans op broeivorming aan het voerhek verminderen, alsook de kans op pensverzuring (met name bij energie(krachtvoer)rijke voermengsels).

Voerregime aanpassen

Aanpassingen in het rantsoen en voerregimes om hittestress te verminderen richten zich op:

- het extra stimuleren van de voeropname (aangezien koeien de neiging hebben bij warmte minder te gaan eten),
- het verhogen van de energie en nutriëntdichtheid van het rantsoen, en
- het verminderen van de productie van lichaamswarmte.

Bij het voeren leidt het vaker verstrekken of aanschuiven van het voer tot een lagere piekdruk aan het voerhek, wat hittestress kan verminderen omdat de koeien dan meer fysieke afstand tussen koppelgenoten kunnen houden. Tevens kan aanpassing van voertijden naar vroegere tijdstippen op de dag het risico op hittestress verminderen, bv. in de vroege ochtend wanneer de omgevingstemperaturen het laagst zijn.

Vergroten energiedichtheid rantsoen

De lagere voeropname als gevolg van warmere temperaturen leidt tot een lagere voer- en dus energieopname en een grotere kans op een negatieve energiebalans (NEB). Dit kan worden voorkomen door de energiedichtheid (VEM/kg DS) van het rantsoen te vergroten, bv. door het toevoegen van (pensbestendige) vetten aan het rantsoen. Dit kan de verlaagde DS opname compenseren en een hogere energiedichtheid resulteert tevens in een lagere fermentatiewarmteproductie. Een grotere energiedichtheid kan worden bereikt door een groter aandeel krachtvoer in het rantsoen te verstrekken of het aandeel kwalitatief hoogwaardig ruwvoer te verhogen (verlagen aandeel ruwe celstofrijk/NDF-rijke rantsoen componenten).

De wijziging in rantsoensamenstelling verhoogt echter wel het risico op pensverzuring en darmverzuring. Er moet dus wel ruimte zijn om het energieniveau in het rantsoen te kunnen verhogen; als men al op een maximaal energieniveau zit, dan zal er vanwege darmgezondheid geen ruimte meer zijn om dit niveau nog verder te verhogen. Rantsoenaanpassingen vergen maatwerk en kunnen in overleg met de voeradviseur en dierenarts worden gedaan. Afhankelijk van de aanpassingen kan een energierijker rantsoen ervoor zorgen dat het eigen ruwvoer minder goed benut wordt en dat meer krachtvoer moet worden gevoerd, wat zorgt voor extra aanvoer van stikstof (N) en fosfor (P).

Supplementen en pensbuffers

Door een te lage opname van ruwvoer en energie kan de pensvertering worden verstoord. Om de warmte kwijt te raken verliest de koe bicarbonaat via speeksel bij hijgen en daarmee buffercapaciteit om de zuurgraad in de pens op peil te houden, met het risico op pensverzuring.

Door de pensverzuring kunnen de pensvlokken dusdanig worden aangetast dat de koeien celwandrijke voeders minder goed kunnen afbreken, waardoor minder melkvet wordt aangemaakt. Om pensverzuring te voorkomen kunnen preventief pensbuffers worden toegevoegd aan het rantsoen.

Er worden ook verschillende supplementen geadviseerd die de negatieve effecten van hittestress zouden kunnen verminderen, zoals: Selenium, Pro- en prebiotica, Zink, gamma-aminobutyric acid (Bagath *et al.*, 2019). De hoogdrachtige koeien nemen ook minder voer op en dus komt de eiwitvoorziening onder druk te staan. Verhoog daarom ook de energie en eiwitdichtheid in het rantsoen van de droge koeien en verhoog het Kation Anion Verschil (KAV) in het rantsoen om een lagere voeropname te compenseren. Eventuele Ca-bindingsmiddelen kunnen beter uit het rantsoen gehaald worden. Een krappe eiwitvoorziening bij de droge koeien heeft nadelige gevolgen voor de ontwikkeling van het kalf en voor de kwaliteit en hoeveelheid biest die de koe gaat produceren. Bij warmte is het daarom extra van belang om extra alert te zijn op adequate biestverstrekking (vlug, vaak en veel) van de kalveren. Bewaar de biest altijd in de koelkast om kwaliteit zo goed mogelijk te houden (Coleman *et al.*, 1996; Lammers *et al.*, 1996; Peña *et al.*, 2016).

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Naast genoemde goede landbouwpraktijken voor inkuilen is ook de temperatuur bij inkuilen van belang, want de warmte blijft in de kuil zitten. Voersnelheid en grond erop zijn volgens stakeholders de belangrijkste maatregelen. Aangegeven wordt dat er negatieve verhalen rondgaan over broeieremmers toevoegen aan de kuil, ook t.a.v. effecten op methaan en ammoniak, en men vraagt zich af wat het met diergezondheid doet. Voor wat betreft voeren is vaker kleine hoeveelheden voeren ook belangrijk voor de pens pH, vooral bij een laag RE gehalte. Van belang is wel om ritme te houden en eventuele veranderingen geleidelijk door te voeren. Een probleem is dat periodes van hitte vaak kort en onvoorspelbaar zijn, en daarom lastig om op te anticiperen. Verder is aangegeven dat het probleem van energieaanbod mogelijk minder groot is als je veel maïs voert, als stabiele factor in energie aanbod. Ook worden voordelen van een lasagnekuil benadrukt voor wat betreft verschillen in kwaliteit tussen grassneden. Veel en vers water verstrekken behoort tot goede landbouwpraktijk en wordt als vanzelfsprekend gezien.

De herkomst van vetten zou een milieu of maatschappelijk probleem kunnen vormen. Anderzijds verlaagt vet ook methaanemissies. Een teveel aan onverzadigde vetzuren zou de fermentatie in de pens belemmeren. Een van de deelnemers voert bierbostel als buffer tegen pensverzuring. Wat betreft supplementen gaat het vooral om anti-oxidanten (Zi en SE) welke dienen als pensbuffer. Het is lastig om hiervan effect te merken, omdat het aan alle koeien gevoerd wordt.

Aangezien de verminderde voeropname als gevolg van hittestress slechts een deel van de productiedaling verklaart (ongeveer 35-50%; Rhoads *et al.*, 2009; Bernabucci *et al.*, 2010; Wheelock *et al.*, 2010) moeten niet alleen rantsoenaanpassingen worden gemaakt, maar ook aanvullende maatregelen bij dieren en in de stal om effecten van hittestress te verminderen (zie volgende paragraaf).

4.7 Diermanagement en huisvesting

De rectale temperatuur begint te stijgen bij omgevingstemperaturen tussen de 20 en 25 graden. Een verhoogde rectale temperatuur is een indicator dat de omgevingstemperatuur boven de bovenste limiet van de thermo-neutrale zone ligt. Het inflectie punt is de temperatuur waarop fysiologische veranderingen gaan optreden, zoals sneller ademen of zweten; deze temperatuur verschilt per aanpassing (als eerste wordt de ademhaling aangepast). Het inflectie punt is lager wanneer de relatieve luchtvochtigheid hoger is. Dat betekent dat wanneer relatieve luchtvochtigheid hoog is, in een eerder stadium maatregelen getroffen moeten worden.

De THI (Temperatuur Humidity Index) wordt aangehouden als indicator voor de verwachte hittestress, deze wordt berekend op basis van temperatuur en luchtvochtigheid¹³. Daarbij worden de volgende risicoklassen voor melkkoeien aangehouden:

- THI lager dan 68: Geen hittestress
- THI van 68 tot en met 75: Milde hittestress
- THI van 76 tot en met 85: Hittestress
- THI van 86 tot en met 95: Ernstige hittestress
- THI hoger dan 95: Dodelijke hittestress

Wel moet rekening gehouden worden met verschillen tussen rassen, staltypen, productieniveau en (weers)omstandigheden ter plaatse. De Gezondheidsdienst voor Dieren heeft een website in het leven geroepen met een 7-daagse hittestress prognose voor iedere regio in Nederland en waarop het hittestress risico in de stal berekend kan worden op basis van temperatuur voorspelling en relatieve luchtvochtigheid (RV) in de stal (<https://www.gddiergezondheid.nl/hittestress>). Voor de Achterhoek wordt het weerstation in Aalten gebruikt.

Principes om risico's op hittestress te verlagen

¹³ T = temperatuur in graden Celsius Tdb= temperatuur gemeten met een droge bol thermometer (= klassieke thermometer) RH of RV = relatieve luchtvochtigheid in percentages.

Maatregelen om te voorkomen dat koeien hittestress ervaren kunnen zich richten op het reduceren van de warmte, of het verminderen van de impact van de warmte. Verschillende principes waar de maatregelen aangrijpen zijn:

- de directe zoninstraling voorkomen,
- het verlagen van de omgevingstemperatuur,
- de warmteproductie van de dieren zelf verlagen, of
- de warmteafgifte van de dieren stimuleren.

Verder kunnen nog maatregelen genomen worden om de negatieve gevolgen van de hittestress te verminderen, zoals bijvoorbeeld maatregelen om de vruchtbaarheid te verbeteren, risico op pensverzuring te verlagen of de verminderde voeropname te compenseren.

Maatregelen om risico op verhoogde infectiedruk te verlagen verdienen met name tijdens de warme perioden extra aandacht en zorgvuldigheid in de uitvoer en zouden mogelijk frequenter genomen moeten worden. Ze zijn over het algemeen onderdeel van de reguliere praktijk en niet per se specifiek voor de Achterhoek. Bij de maatregelen om infectiedruk te verlagen hebben we ons met name gericht op maatregelen op omgevings- en dierniveau.

De verschillende maatregelen zullen hieronder verder worden beschreven onderverdeeld in (1) het aanbieden van schaduw (directe zoninstraling voorkomen) en (2) aanpassingen in de stal en (3) aanpassingen van management.

4.7.1 Directe zonnestraling voorkomen (stralingswarmte verminderen)

Veel maatregelen zijn gericht op het voorkomen van directe zonnestraling (Tabel 4.9). In de THI-index wordt geen rekening gehouden met de instraling van zon, terwijl dit wel een extra belasting is voor de koeien. Het aanbieden van schaduw tijdens weidegang is daarbij essentieel (Dahl *et al.*, 2020).

Tabel 4.9 *Maatregelen gericht op het voorkomen van directe zonnestraling (schaduw).*

Maatregel	Toelichting
Schaduwvoorziening in de wei	Schaduw aanbieden in de wei door aanleg of handhaven van houtwallen of bomen (aanplanten is op de korte termijn niet effectief), of andere schaduw-constructies zoals (verplaatsbare) dakconstructies, tenten, etc. Let op risico's op vertrapping van de zode, vervuiling van het uier met mest en grond, en kans op de wrangvlieg (<i>Hydrotea irritans</i>).
Vee opstallen	Opstallen bij hitte en/of droogte om dieren schaduw te bieden en schade aan de grasmat te voorkomen.

Schaduwvoorziening in de wei

Schaduw in de weide kan worden verzorgd door het aanbieden van een afdak of door houtwallen of boomrijen. Het aanplanten van bomen is op de korte termijn uiteraard niet effectief. Houtwallen en bosranden slechts een schaduwstrook, welke overbezet kan raken, met vertrapping van de zode als gevolg. Daardoor is er ook meer kans op vervuiling van de uiers met mest en grond. Ook zijn bossages de habitat van de wrangvlieg (*Hydrotea irritans*) die 's nachts tussen de bomen beschutting kan vinden, maar een verspreider zijn van de bacterie *Arcanobacterium pyogenes*, welke een zeer ernstige onherstelbare uierontsteking kan veroorzaken. Vooral jongvee is hiervan het slachtoffer.

Een wranguitbraak volgt dus vaak op een periode van warm en vochtig weer met weinig wind, met name op zandgronden in bosrijke gebieden (Gauly *et al.*, 2013; Timmerman *et al.*, 2018). Een effectieve vliegenbestrijding is in dit geval gewenst.

Andere opties voor het aanbieden van schaduw-constructies in het land kunnen bestaan uit (verplaatsbare) dakconstructies of tenten etc. Dit biedt schaduw aan relatief kleine dieraantallen en vaste constructies zijn alleen bruikbaar in een standweidesysteem. Het verplaatsen bij omweiden is arbeidsintensief.

Vee opstallen

De stal zelf is uiteraard ook een mogelijkheid om schaduw aan te bieden op momenten dat de zonnestraling hoog is, waarbij beweidingsregimes aangepast moeten worden (zie paragraaf 4.3). Stalaanpassingen gericht op vermindering van hittestress staan beschreven in de volgende paragraaf (4.7.2).

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Hoewel er goede ervaringen zijn van veehouders met houtwallen als schaduwbron, wordt het toch ook afgeraden deze extra te gaan aanplanten aangezien ze ook veel water onttrekken wat ten koste gaat van grasproductie. Ook zijn er ervaringen dat er veel gras wordt vertrapt en platgelegd onder de wallen (risico op bodemverdichting) en er blijft mest onbenut achter. Tevens dient goed tegen teken behandeld te worden. Er zijn ook slechte ervaringen met dennen in een houtwal, waardoor Klebsiella besmettingen zijn opgetreden op een bedrijf. De andere schaduw constructies worden door de veehouders niet als veelbelovende oplossingsrichting gezien; ze worden niet praktisch beschouwd en minder effectief en efficiënt dan natuurlijke schaduw.

Het opstallen bij hitte/droogte is vooral een maatregel die op zandgrond plaatsvindt, dit wordt door zowel de veehouders als stakeholders genoemd, het liefst wel gecombineerd met een vrije uitloop. Eventueel wordt er 's nachts geweid. Op kleigrond lukt het beter om koeien te blijven weiden. Het zou wel in combinatie met beregenen kunnen en met minder uren weiden per dag. Als aanvulling wordt door de veehouder genoemd dat ook de kalveriglo's in de schaduw moeten staan bij sterke zonnestraling.

4.7.2 Stalaanpassingen

Stalaanpassingen die gericht zijn op het verminderen van hittestress staan in Tabel 4.10. De aanpassingen zijn gebaseerd op een van de volgende principes: i) het verlagen van de omgevingstemperatuur (convectie) of ii) bevorderen van de warmteafgifte. De maatregelen worden onder de tabel volgens die principes beschreven.

Tabel 4.10 Stalaanpassingen gericht op het verminderen van hittestress in de stal.

Maatregel	Toelichting
<i>Dak en gevel</i>	
Dak isoleren	Dakisolatie voorkomt warmtegeleiding en warmtestraling van het dak. Blindeer ramen en lichtplaten om zoninstraling te voorkomen.
Dak besproeien	Besproeien van het dak zorgt voor evaporatie en verlaagt de stralingswarmte van het dak.
Dak aanpassen	Hoger dak om stralingswarmte van het dak te verminderen, grotere dakoversteek om directe instraling in de stal te voorkomen, of andere type dak (bv. open nok, open schuivend dak, pagode dak om natuurlijke ventilatie te bevorderen) of systeem (bv. Koeientuin, bomen aanplanten, zeilen spannen, paraplu daken)
Gevels verwijderen	Bij bestaande bouw, afbreken van gevels t.b.v. grotere (natuurlijke) ventilatiecapaciteit
<i>In en rond de stal</i>	
Vernevelen	Lucht bevochtigen (vernevelen) verlaagt de omgevingstemperatuur van koeien. Alleen bij droge weersomstandigheden toepassen omdat de luchtvochtigheid zal stijgen waardoor zweetafgifte minder makkelijk is.
Koeien nat maken	Koeien frequent nat maken (douchen) in combinatie met ventilatie verhogen (koeien willen het hoofd niet nat hebben), of een uitloop in water aanbieden ('zwembad' voor koeien waar ze makkelijk in en uit kunnen lopen en niet te diep).
Koeling (ligbedden/loopvloer/lucht)	Verkoelend ligbed aanbieden door bv. cooling pads in de ligboxen, zand in de ligboxen, of limestone. Loopvloer koelen m.b.v. koelsysteem in de vloer (koeien blijven langer staan bij hogere temperaturen). Voorgekoelde lucht over de koeien blazen, via panelen.
Ventileren	Mechanische ventilatie en verhoging van de luchtsnelheid om de warmteafgifte te bevorderen (in lengte richting van de stal of dwars), of specifieke ventilatie over de koeien heen, of onder de koeien door wanneer ze staan (bv. aan het voerhek, in de wachtruimte).
Schaduw rond stal	Schaduw rond de stal zoals bomen naast de stal (voldoende hoog, anders waait het minder door/ventilatie).
<i>Stalsysteem / nieuwbouw</i>	
Groter stalvolume	Bij nieuwbouw, zeer groot stalvolume creëren
Vrijloopstal	Vrijloopstallen in plaats van ligboxen, lagere bezetting en betere airflow op koeniveau

Omgevingstemperatuur verlagen (convectie)

Er bestaan verschillende manieren om de omgevingstemperatuur voor de koeien te verlagen. Een veel gebruikte methode is het bevochtigen van de lucht met een vernevelaar. Hierdoor wordt de omgevingstemperatuur verlaagd. Het nadeel is dat de relatieve luchtvochtigheid wordt verhoogd. Het punt waarop koeien beginnen met sneller ademen (inflectie punt) daalt bij hogere relatieve luchtvochtigheid en lagere luchtsnelheid. Vernevelaars zullen derhalve minder effect hebben op het reduceren van de hittestress dan in eerste instantie gedacht (Zhou *et al.*, 2022). Bovendien zal de zweetafgifte ook minder makkelijk zal gaan bij verhoogde relatieve luchtvochtigheid (Zhou *et al.*, 2022). Deze methode is dus alleen effectief bij droge weersomstandigheden en wordt vooral toegepast in gebieden met een andere relatieve luchtvochtigheid dan in Nederland (Galán *et al.*, 2018; Dos Santos *et al.*, 2021).

Een andere bron van warmte is de warmtestraling van de omgeving zoals het dak of de vloer. Het dak kan hierbij een belangrijke bron van warmteafgifte naar de stal zijn, wanneer deze niet geïsoleerd is. Bij een hoog dak zal het effect van de stralingswarmte verdund worden, maar door het dak te isoleren, kan de warmtegeleiding en daarmee warmteafgifte in de stal flink gereduceerd worden (Hempel *et al.*, 2019).

Een grote dakoversteek van het staldak kan directe instraling in de stal voorkomen, wat ook bij hoge stallen en open muren mogelijk is. Shoshani and Hetzroni (2013) beschrijven verschillende staldak constructies, zoals een schuifbaar dak, een dak met luiken, een open nok dak waarbij de specifieke afmetingen hoogte, helling van het dak aangepast dienen te worden aan de lokale omstandigheden (wind en zon richting als meest belangrijke factoren). De aanbevolen schaduwoppervlakte per koe is 1,8–2,5 m² per koe voor een droge omgeving en 3,5–5,6 m² per koe voor een vochtige omgeving (Hahn, 1985; Collier *et al.*, 2006).

Onderzoek uit Israël heeft uitgewezen dat de optimale stal voor hoog-producerende koeien (in een Israëliësch klimaat) het loose-housing type is. De lange as staat loodrecht op de windrichting. Het is het beste als het dak een open nok of pagode heeft met marginale hoogte van 4,7 m voor de noord-zuid oriëntatie en meer dan 5 m voor de oost-west oriëntatie, een dakhelling van 11%, en een stalbreedte tussen de 43 en 51 meter voor de noord-zuid oriëntatie en minder dan 42 m voor de oost-west oriëntatie.

De warmteafgifte kan extra gereduceerd worden door het dak te besproeien met water. Echter kan dit ook weer bijdragen aan een hogere relatieve luchtvochtigheid, wat nadelig is voor warmteafgifte van de koeien zelf en wat bij watertekort mogelijk ook minder wenselijk is wanneer er in de zomer een watertekort door droogte is.

Warmteafgifte bevorderen

Recent onderzoek (Zhou *et al.*, 2022) heeft laten zien dat Holstein Frisian koeien hun ademhaling als eerste gaan versnellen bij stijgende temperaturen, wat een indicator is dat koeien in de eerste fase van adaptatie zijn. Dit gebeurt al bij temperaturen van 19 graden wanneer de relatieve luchtvochtigheid hoog is en de luchtsnelheid laag. Dit inflectie punt stijgt bij hogere luchtsnelheden. Warmteafgifte van de koeien kan dus gestimuleerd worden wanneer verdamping (van zweet of vocht) wordt gestimuleerd. Ventilatie wordt hierbij als een van de meest belangrijke oplossingen gezien. Morfologische kenmerken van de koe beïnvloeden de effectiviteit van de verdamping van de huid, zoals de dikte van de huid en vacht, haarlengte en huidkleur (Madhusoodan *et al.*, 2019).

Voor luchtstroming wordt een minimale snelheid van 2,0 m/s op koe-niveau geadviseerd (University of Wisconsin-Madison, 2018). Deze luchtsnelheid zal bij natuurlijk geventileerde stallen niet altijd gehaald worden, zeker niet op koe-niveau. Ventilatoren gericht op koeien kan zeker op windstille dagen helpen. Lucht kan ook worden voorgekoeld (d.m.v. bijvoorbeeld vernevelaar of speciale lamellen) en over de koeien geblazen worden (Calegari *et al.*, 2012; Henry *et al.*, 2018; Dahl *et al.*, 2020). Bij bestaande bouw kan het afbreken van gevels bijdragen aan een grotere (natuurlijke) ventilatiecapaciteit. Bij nieuwbouw wordt geadviseerd een zeer groot stalvolume aan te houden, en kunnen dak aanpassingen de ventilatie bevorderen (bv. open nok dak, pagodedak, openschuivend dak). Wanneer de longitudinale as van de stal loodrecht op de wind staat, zal dat zorgen voor optimale ventilatie bij natuurlijke ventilatie. Door uit te zoeken welke windrichtingen er vooral tijdens de warmste perioden zijn, kan hier bij nieuwbouw rekening mee gehouden worden.

Er worden ook sprinkler systemen geadviseerd, waarbij niet de lucht wordt gekoeld door mistvorming, maar de koeien worden bevochtigd met grotere waterdruppels in combinatie met ventilatie. De verdamping van het water zal een verkoelend effect op de koeien hebben en wordt geadviseerd in plaats van de luchtbevochtiging bij klimaten waar de relatieve luchtvochtigheid hoger is (Collier *et al.*, 2006). Koeien kunnen ook gesoaked/frequent gedouched worden, waarbij de vacht heel nat gemaakt wordt in combinatie met ventilatie. Het frequent douchen van koeien wordt met name in Israël uitgevoerd. Israël wordt als "subtropisch droog" of Middellandse beschoofd, met een droge warme zomer van temperaturen boven 30 °C relatieve luchtvochtigheid tussen 50-90%. De koeien worden per dag zeven tot 10 keer gekoeld gedurende 30 minuten toegepast waarbij de koeien flink nat worden gemaakt in combinatie met ventilatie. De koeien kunnen op deze manier gedurende de warme zomer de normale lichaamstemperatuur en productie van 30 kg melk / dag realiseren, en ook de vruchtbaarheid blijft daarbij vergelijkbaar met het winterseizoen (Wolfenson *et al.*, 1988; Flamenbaum and Galon, 2010b). Een nadeel van het bevochtigen van de lucht of koeien is ook de verhoging van vocht in de omgeving wat tot gezondheidsproblemen kan leiden zoals mastitis, vooral wanneer de ligplekken nat worden (Nienaber and Hahn, 2007). Deze koe-bevochtiging methode worden dan vooral ook toegepast op de sta plekken van de koeien, zoals aan het voerhek of de wachtruimte voor het melken om te voorkomen dat de ligplekken nat worden (Martin *et al.*, 2012).

Koeien kunnen warmte afgeven (via conductie) aan het ligbed, wanneer dit een kouder oppervlak heeft dan de koe zelf. Verschillende opties worden voorgesteld zoals: zand in de ligboxen (Calegari *et al.*, 2012), of limestone (Ji *et al.*, 2020). Perano *et al.* (2015) ontwikkelden en onderzochten een koelsysteem waar gekoeld water circuleerde door aangepaste waterbedden voor koeien. Een gunstig effect van verkoelde ligbedden werd vooral gezien wanneer er geen beddingmateriaal bovenop werd gelegd. Daarnaast lieten Shoshani and Hetzroni (2013) zien dat koeien in vrijloopstallen pas bij hogere temperaturen last kregen van hittestress (sneller ademen) vergeleken met ligboxenstallen bij natuurlijke ventilatie. Een verklaring hiervoor werd gevonden in de extra materialen in de ligboxen stallen die de luchtstroom kan belemmeren vooral op koe-niveau en de lagere bezetting in vrijloopstallen. Een andere mogelijkheid om tijdens weidegang de koeien verkoeling te bieden is via een uitloop in water aanbieden, een zogenaamd 'zwembad' voor koeien, waar ze makkelijk in en uit kunnen lopen en niet te diep is. Ook hier kleven echter hygiënische nadelen aan. Uiteraard is het aanbieden van voldoende fris en schoon water essentieel tijdens warmere perioden, dit kan ook bijvoorbeeld door meer waterpunten aan te leggen.

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Dakisolatie wordt door veehouders als ideaal beschouwd, dat scheelt veel in opwarming in de stal bij warme perioden. Ervaringen zijn dat onder niet geïsoleerde platen de temperatuur op kan lopen tot 60 graden. Met het nathouden van de platen kan de temperatuur nog steeds tot 40 graden oplopen. Met meer stalinhoud en een hoger dak kun je het oplopen van de temperatuur beperken. Ook zonnepanelen op het dak zouden de opwarming remmen. Als aanvulling op de maatregelen wordt nog gesuggereerd dat de lichtplaten in het dak op de zonnkant eruit gehaald zouden moeten worden en op de oost-/noordkant geplaatst moeten worden. Dit scheelt instraling en opwarming.

Het afbreken van gevels is in veel gevallen al gebeurd, ook om koeien meer ruimte in de boxen te kunnen geven. Wat betreft de open stallen zonder zijgevels wordt ook de vraag gesteld of buitenom voeren met alleen een dak een optie is. Hierop wordt aangegeven dat het toch wel prettig is als een stal 's winters iets meer bescherming biedt, maar dat is vooral voor de boer zelf hoe daarmee om te gaan. Voorgekoelde lucht ligt niet direct voor de hand voor een melkveestal, dat lijkt misschien meer iets voor varkensstallen. Voor wat betreft het koelen van koeien wordt gesteld dat een waternevel niet op de koeien moet komen waarbij ze permanent nat blijven, er moet dan dus goed geventileerd worden. Het is belangrijk onderscheid te maken tussen de waternevel die dient om de lucht te koelen wat niet bedoeld is om de koeien nat te maken. Het natmaken van koeien moet altijd in combinatie met goede ventilatie om de koeien weer droog te krijgen. Deze verdamping zorgt voor enorme (tijdelijke) verkoeling van de koeien. Ook kleven er gezondheidsrisico's aan het natmaken van koeien en/of omgeving door een verhoogd risico op mastitis, met name wanneer het ligbed vochtig wordt.

Aan een uitloop met water kleven volgens de veehouders veel praktische bezwaren. Juist op het moment dat de watervraag groot is, is het lastig om iets van een poel te realiseren, zeker op droge zandgrond. Ook leidt dit makkelijk tot vervuiling van zowel de koeien als het water. Een genoemd mogelijk alternatief is een wasstraat met douches, waarbij de koeien in de straat nat worden en daarbuiten weer opdrogen.

Over het algemeen wordt ervaren dat bij effectieve verkoelende maatregelen de koeien langer koe-eigen gedrag vertonen. Droge koeien dienen hierbij overigens niet vergeten te worden. De vraag of een investering in een vernevelingsinstallatie uit kan lijken lastig te beantwoorden; de verwachting is dat verneveling een verschil maakt en het de dierprestaties ten goede komt, en zich hierdoor snel terugverdient, vooral als temperaturen door klimaatverandering verder oplopen.

Aanpassingen aan de stal of stalverbouwingen worden wisselend ontvangen. Het zijn grote investeringen en bij net nieuwe stallen zullen niet snel aanpassingen gedaan worden. Een grote, hoge stal kost ook veel materiaal waarbij de vraag is of dat duurzaam is. Natuurlijke ventilatie wordt als meest duurzaam beschouwd aangezien dat geen elektriciteit kost. Er wordt opgemerkt dat voor meerdere maatregelen water gebruikt moet worden (bv. vernevelaar, koeien nat maken, dak nat maken), terwijl de beschikbaarheid van water op een gegeven moment beperkend kan worden. Het veel en vaak vers drinkwater aanbieden wordt als gangbaar en vanzelfsprekend beschouwd.

4.7.3 Diermanagement aanpassingen

Maatregelen om hittestress te verminderen via diermanagement zijn erop gericht de warmteproductie van dieren te verlagen of te zorgen dat dieren hun warmte beter kwijt kunnen of er minder last van hebben (Tabel 4.11).

Tabel 4.11 *Aanpassingen in diermanagement om hittestress te verminderen.*

Maatregel	Toelichting
Activiteiten aanpassen	Activiteiten van koeien plannen op koelere momenten van de dag (bijv. melkroutines). Beweidingsregime aanpassen: siësta beweiding, 's nachts beweiden, of alleen laag productieve koeien weiden in warme perioden
Fokken op hitteresistentie	Fokken op kenmerken die bijdragen aan minder hittestress
Reproductie/inseminatie aanpassen	Piek melkproductie buiten zomer plannen. Niet insemineren wanneer er een langere periode van warmte is verwacht. Geen vers maar bevroren sperma inzetten of natuurlijke dekking
Stalbezetting verlagen	Een lagere stalbezetting zorgt voor mindere piekdrukke aan voerhek in de ligboxen waardoor koeien beter hun warmte kwijt kunnen.

Activiteiten aanpassen

Activiteiten waarbij koeien actief zijn kunnen zoveel mogelijk gepland worden tijdens de minder warme perioden, zoals 's avonds, 's nachts of vroeg in de ochtend. Een voorbeeld is het aanpassen van het beweidingregime naar bijvoorbeeld alleen 's avonds of 's nachts weiden, of siësta beweiding. Ook kan de aanwezige variatie in de koppel koeien worden benut door bijvoorbeeld alleen de laagproductieve koeien te weiden tijdens warme perioden.

Activiteiten van koeien kunnen tijdens perioden van hitte worden gepland op koelere momenten van de dag (bv. melkroutines), inclusief de activiteiten die additionele stress veroorzaken, zoals veebehandelingen. Het verlagen van de bezetting van de stal zal ook bijdragen aan reductie van hittestress, vergelijkbaar met meer ruimte en luchtstroom bij stalaanpassingen (zie vorige hoofdstuk).

Fokkerij

Bij fokkerij kan meer geselecteerd worden op koeien die beter om kunnen gaan met hoge temperaturen (bv. genetica / lagere productie, ras, vachttype, vachtkleur; Herbut *et al.*, 2019). Zo absorbeert een zwarte vacht bijvoorbeeld twee keer zoveel warmte als een witte vacht (Laible *et al.*, 2021), echter is bij een witte vacht is het risico op zonnebrand weer groter. Door het kruisen van Holsteins met Senepol met gladde vacht werd de zweetcapaciteit verhoogd (Madhusoodan *et al.*, 2019). Bij het kruisen met inheems rassen is het echter vaak een uitdaging om de productie op pijl te houden.

Reproductie/inseminatie

Bij hogere temperaturen bespringen de koeien elkaar minder tijdens tochtigheid dan anders. In de periode voor de tocht ontwikkelt zich de eicel. Bij een hoge lichaamstemperatuur is de eicel van mindere kwaliteit, waardoor de kans op bevruchting sterk afneemt. Vanaf 21 dagen voor inseminatie kan hittestress daarom al negatief effect hebben. Slaagt de bevruchting wel, dan krijgt de hele jonge embryo het moeilijk bij een te hoge lichaamstemperatuur met meer vroeg-embryonale sterfte tot gevolg. Daarom is vroeg op de ochtend insemineren ook geen garantie voor succes (Schüller *et al.*, 2014, 2016). De manier van bevruchten maakt

wel uit, waarbij betere drachtigheidspercentages werden bereikt door tijdens warme zomerse condities geen vers sperma maar bevroren sperma te gebruiken of tijdens warme zomerse condities natuurlijke dekking toe te passen i.p.v. KI (Schüller *et al.*, 2016). Men zou ook het afkalfpatroon kunnen aanpassen waardoor er minder koeien tijdens warme, zomerse perioden tochtig zijn. Men kan ook langere tussenkalftijd accepteren en tijdens warme periodes, en de koeien niet insemineren aangezien bevruchtingssuccessen erg laag zijn.

Rantsoenaanpassingen om de warmteproductie te verlagen zijn beschreven in paragraaf 4.5. Door het rantsoen aan te passen en beter verteerbaar voer te verstrekken, waardoor de herkauwactiviteit gereduceerd wordt, kan de eigen warmteproductie verlaagd worden. Wel moet er voldoende structuur gevoerd worden om het rumen stabiel te houden; er kan bijvoorbeeld minder energie in de ochtend worden verstrekt en meer in avond.

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Siësta beweiden wordt beschouwd als een goede optie, welke geleidelijk moet verlopen van overdag weiden, naar siësta en vervolgens naar 's nachts. Dit moet geleidelijk omdat koeien gewoontedieren zijn en niet van de ene op de andere dag naar een ander ritme over kunnen gaan. Het plots aanpassen van dagelijkse routines wordt niet als gunstig beschouwd omdat het ritme vasthouden voor de koe belangrijk is. Aanpassingen lijken dus niet effectief bij een korte hitteperiode, waarbij ook niet altijd tijdig te voorspellen is wanneer het echt warm gaat worden. Alleen laagproductieve koeien weiden wordt niet als optie gezien. Mogelijk kunnen de hoogproductieve koeien wat dichter bij de stal gehouden worden zodat ze makkelijk naar binnen kunnen. Met robotmelken is het lastig om het ritme om te zetten.

Een andere kleur koeien wordt niet als interessant gezien omdat witte koeien een groter risico lopen op zonnebrand. Het verlagen van de stalbezetting is lastig te realiseren. Het kan wel wanneer jongvee naar buiten kan, maar dat moet wel binnen het management passen. Een andere optie is om extra capaciteit te bouwen waardoor de bezetting ook lager wordt. Tijdens melken wordt er wel rekening gehouden met hoe vol de wachtruimte staat. Na het opsluiten van de koeien wordt er zo snel mogelijk gemolken om de wachttijd in te korten.

Volgens melkveehouders hoeft de melkproductie niet verlaagd te worden, want dit gebeurt vanzelf. Belangrijker is om te accepteren dat het gebeurt en niet de productie te pushen tijdens deze perioden. Er is goede ervaring met het licht reduceren van de (eiwit)brok (een halve kg minder); zonder dat de koe daar last van heeft - de productie komt daarna wel weer op peil. Andere opmerkingen rondom het verlagen van de melkproductie zijn dat de efficiëntie daardoor niet beter wordt en de warme perioden moeilijk voorspelbaar zijn waardoor je daar niet van tevoren op kan sturen. Het zou dan een meer structurele aanpassing zijn (door fokkerij bijvoorbeeld) waardoor de productie permanent lager ligt. Echte kenmerken van hittebestendigheid zijn niet bekend bij HF runderen. Wel van andere rundveerassen, maar dat is een forse strategische keuze om door te voeren.

Voor bedrijven die verse sperma gebruiken zal het overschakelen naar bevroren sperma makkelijk te doen zijn. Het gebruik maken van een stier voor natuurlijke dekking in de zomermaanden kan voor bepaalde bedrijven een relatief eenvoudige oplossing zijn om betere drachtigheidspercentages te halen tijdens warme condities in de zomer. Natuurlijke dekking met een stier is echter niet voor ieder bedrijf praktisch haalbaar en kan ook gevaarlijke situaties voor de veehouder opleveren.

Ook is het lastig het afkalfmoment op korte termijn te beïnvloeden: de koe bepaalt immers wanneer ze gaat kalven. Een voorjaarskalvende veestapel heeft voordelen om in het voorjaar veel gras in de koe kwijt te kunnen. Ze zijn dan in de zomer uit de negatieve energiebalans. Nederlandse boeren doen dit niet omdat het lastig te realiseren is en ook kosten met zich meebrengt.

4.7.4 Infectiedruk verlagen

Een vochtige warme omgeving is bij uitstek geschikt voor groei van ongewenste bacteriën in de omgeving van de koe, waarbij het ligbed een van de grootste risico's vormt. Door de hittestress die koeien ervaren worden ze ook vatbaarder voor infecties (Vitali *et al.*, 2020; Hamel *et al.*, 2021). Naast het reduceren van hittestress vragen maatregelen om infectiedruk laag te houden daarom extra aandacht bij hogere temperaturen. Maatregelen die gericht zijn op het verlagen van de infectiedruk staan in Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Maatregelen om de infectiedruk te verlagen.

Maatregel	Toelichting
Stal schoonhouden	Schoonhouden van ligbedden door gebruik van anorganisch bedding materiaal (bv. zand), toevoegen kalk/zuur, en frequent verschoneren. Vloeren schoonhouden door mestschuif/robot frequenter/schoner te laten schuiven. Zonlicht en droogte kunnen bacteriegroei remmen van oppervlakten omgeving van de koeien op momenten dat koeien niet aanwezig zijn.
Koeien schoonhouden	Bv. door scheren, haren uiers wegbranden
Insecten en ongedierte bestrijden	Management vliegen, muggen, knutten, teken en ongediertebestrijding (risico op vector borne diseases remmen, professioneel bedrijf inschakelen)
Fokken op ziekte tolerantie	Fokken op tolerantie t.a.v. ziekten en parasieten (nog weinig over bekend)

Een schoon en droog ligbed is essentieel, en kan gerealiseerd worden door vaker te verschoneren, extra te ventileren, het toevoegen van kalk/zuur in de boxen, en anorganisch beddingmateriaal te gebruiken (Krömker *et al.*, 2010). Ook kunnen koeien geschoren worden en de haren op de uiers weggebrand worden om dieren schoon te houden. Zonlicht en droogte kunnen bacteriegroei remmen van oppervlakten omgeving van de koeien op momenten dat koeien niet aanwezig zijn. Het verlagen van de bezetting zal ook de infectiedruk verlagen maar is niet altijd mogelijk.

Bij stijgende temperaturen wordt een verschuiving verwacht van vliegen, muggen, knutten, teken en ongedierte het risico op vector borne diseases zal toenemen (Daramola J.O. *et al.*, 2012; Kimaro *et al.*, 2017). Vooral een natte vieze omgeving zal ongedierte en insecten aantrekken. Het is daarom belangrijk natte en vieze omgeving te voorkomen en regelmatig mest te verwijderen. Door de introductie van nieuwe vector borne diseases is het belangrijk om een dierenarts of instanties in te lichten bij vage onduidelijke klachten (om mogelijk nieuwe dierziekten snel op te sporen). Ook helpen regelmatige controles van bloed, en een droogstand check en verse koeien check. Mogelijk kan ook gefokt worden op tolerantie t.a.v. ziekten en parasieten, hier is nog weinig over bekend.

Beschouwing door kennisgroep KLIMEA

Kalk/zuur in de boxen wordt wel gebruikt waar niet te veel kalk of zuur moet worden gebruikt vanwege speenbeschadiging en ook het verhogen van ammoniakemissie uit de mest. Behandeling van vliegen en larven in de mestput is effectief, maar kan negatief werken op insecten in het land. Een roofwesp zou een optie kunnen zijn, maar dit is het meest effectief in afgesloten ruimtes, zoals een varkensstal.

5 Beschouwing toepasbaarheid maatregelen

Aan 6 melkveehouders in de KLIMEA kennisgroep en 3 partners in het KLIMEA project (ForFarmers, Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Provincie Gelderland) is gevraagd in hoeverre ze de maatregelen uit Hoofdstuk 4 toepasbaar en zinvol achten voor klimaatadaptatie van melkveebedrijven in de Achterhoek. Aan partners werd gevraagd welke maatregelen zinvol zijn voor bedrijven in de Achterhoek, en aan melkveehouders werd gevraagd welke maatregelen al worden toegepast, en welke wel of niet interessant zijn voor inpassing op het bedrijf. Gedetailleerde resultaten zijn weergegeven in Bijlage 1.

De meeste adaptatiemaatregelen waren reeds bekende maatregelen, en het merendeel (78%) werd al toegepast door één of meer ondervraagde melkveehouders. In één maatregel werd door geen van de stakeholders perspectief gezien: risico's verzekeren.

Toepasbare en zinvolle maatregelen

In Tabel 5.1 is aangegeven welke maatregelen het vaakst werden gescoord als 'zinvol' (door project partners) of interessant ('doe ik al' of 'interessant', door melkveehouders). Maatregelen waarvoor 1 of meer partners aangaven dat de maatregel niet zinvol is zijn hierbij achterwege gelaten. De maatregelen in Tabel 5.1 zouden kunnen worden beschouwd als adaptatiemaatregelen die zinvol zijn en op korte termijn toepasbaar voor melkveebedrijven in de Achterhoek. Wat opvalt is dat met name maatregelen gerelateerd aan bodembeheer door alle bevroagden wordt beschouwd als zinvol.

Tabel 5.1 Adaptatiemaatregelen die het vaakst werden gescoord als 'zinnig' door project partners en 'doe ik al' of 'interessant' door melkveehouders¹.

Frequentie	Bedrijfsonderdeel	Maatregel
Minimaal	Waterbeheer	- Boeren stuwen
10 keer aangegeven	Bodembeheer	- verbeteren bodemstructuur en bodemkwaliteit - voorkomen van bodemverdichting en structuurbederf - bodemchemie op peil houden - opbouw en behoud van bodem organische stof - verbeteren bodembioïologie/bodemleven
	Gras en weidegang	- tijdig uitscharen bij lage grasgroei - opstallen bij hitte en/of droogte - voldoende stopplengte aanhouden bij oogsten gras (>6 cm) - droogteresistente grassen en kruiden
	Teeltmaatregelen / gewaskeuze	- vanggewassen en onderzaai
	Ruwvoermanagement / rantsoen	- luchttoetreding in de kuil verminderen
5-9 keer aangegeven	Waterbeheer	- Regelbare drainage (al dan niet met sub-irrigatie) - Dynamisch peilbeheer - Beregening
	Teeltmaatregelen / gewaskeuze	- andere voedergewassen telen (lagere waterbehoefte / vroege lentegroei / langer doorgroeien in najaar) - aanpassen teelttechniek (bv. lagere plantaantallen, ruitzaai) - meer diversiteit in bouwplan - meer aandacht voor adequate beheersing van ziekten, plagen en onkruiden
	Gras en weidegang	- 's nachts weiden - siësta beweiding
	Ruwvoermanagement	- goede in-/uitkuil management (bv. verzwaren kuilafdekking, handhaven vlak snijvlak, snijvlak op noorden situeren, voersnelheid >2 m per week) - toepassen broeiremmers op snijvlak kuil
	Rantsoen / voersysteem	- vergroten energiedichtheid rantsoen bij hittestress - toevoegen pens pH-buffers aan rantsoen - supplementen voeren t.b.v. hittestress
	Diermanagement en huisvesting	- verbeteren waterversprekking (veel en vers water) - dak aanpassen (grotere dakoversteek, dakisolatie) - mechanische ventilatie en verhoging van de luchtsnelheid in de stal - ventilatie op specifieke plaatsen (bv. voerhek, wachtruimte) - ligbedden vaker verschoneren, gebruik van kalk/zuur/anorganisch materiaal - koeien scheren (i.v.m. infectiedruk)

¹ Voor melkveehouders was het mogelijk om zowel 'doe ik al' als 'interessant' te scoren, waardoor de frequentie in de eerste kolom hoger uitvalt dan het aantal bevroegde stakeholders.

Weinig toegepaste maar 'interessante' maatregelen

In Tabel 5.2 is aangegeven welke maatregelen door geen of weinig melkveehouders werden toegepast op het bedrijf, maar wel 'interessant' werden bevonden voor toepassing. Er is enige overlap met Tabel 5.1, met als verschil dat de maatregelen in Tabel 5.2 door geen of weinig melkveehouders zijn toegepast. Deze maatregelen kunnen worden beschouwd als onbekendere, maar potentieel kansrijke adaptatiemaatregelen, waarvoor meer onderzoek en demonstratie mogelijk wenselijk is.

Tabel 5.2 Adaptatiemaatregelen die door melkveehouders werden gescoord als 'interessant' en niet of weinig als 'doe ik al'.

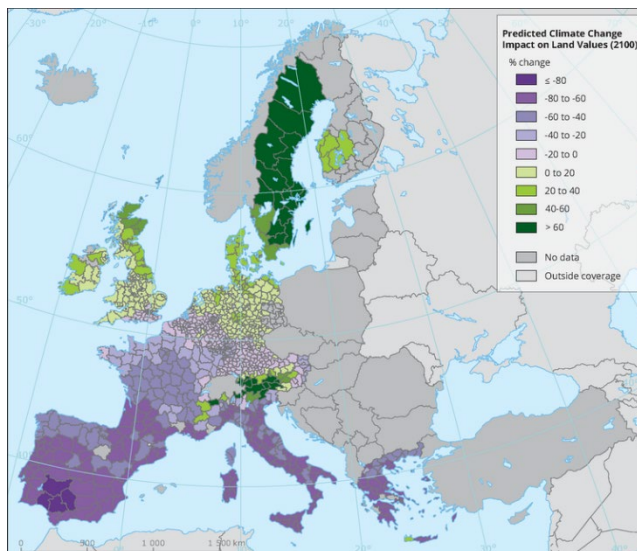
Bedrijfsonderdeel	Maatregel	'Interessant' (n veehouders)	'Doe ik al' (n veehouders)
Waterbeheer	- regelbare drainage (al dan niet met sub-irrigatie)	3	0
	- dynamisch peilbeheer (peilbeheerste gebieden)	3	0
	- extra wateraanvoer van buiten de landbouw	2	0
Gras en weidegang	- alleen laag productieve koeien weiden in warme perioden	3	0
	- siësta beweiding	4	1
	- 's nachts weiden	4	2
Teeltmaatregelen / gewaskeuze	- voedergewassen met vroeg lentegroei	3	1
	- aangepaste teeltechniek (lagere plantaantallen)	3	1
	- meer diversiteit in bouwplan	5	2
Ruwvoermanagement / rantsoen	- toepassen broeiremmers op snijvlak kuil	3	1
	- toevoegen van vetten in rantsoen	3	1
Diermanagement en huisvesting	- voorgekoelde lucht over de koeien blazen	3	0
	- koeien nat maken i.c.m. verhogen van ventilatie	3	0
	- fokken op koeien die beter bestand zijn tegen hittestress	3	0
	- management vliegen, muggen, knutten, teken en ongedierte	3	1
	- besproeien van het dak	2	0
	- verkoelend ligbed of vloer	2	0
	- lucht bevochtigen	1	0
	- afbreken van gevels bij bestaande bouw	1	0

Een algemeen beeld van bevraagde melkveehouders was echter dat nieuwe, nog onbekende maatregelen ("echte innovaties") nog ontbreken. Daarnaast misten volgens hen adaptatiemaatregelen gericht op mest en bemesting, systeemverandering, en tools en sensoren. Door melkveehouders zijn een aantal aanvullende adaptatiemaatregelen genoemd die opgenomen zijn in Bijlage 2. In hoeverre de voorgestelde maatregelen effectief zijn t.a.v. klimaatadaptatie zou in nader onderzoek moeten worden vastgesteld.

6 Adaptatiemaatregelen in internationale literatuur

Gedurende de 21^e eeuw zullen klimaatzones verder naar het noorden opschuiven. Tegen het jaar 2100 zal de rand van het areaal dat geschikt is voor landbouw 1200 km noordelijker liggen dan nu (King *et al.*, 2018). Dit betekent dat een groter deel van Noord Europa (Scandinavië) geschikt wordt voor landbouw en de geschiktheid en productiviteit van landbouwgronden in Zuid Europese landen sterk zal afnemen, met tevens gevolgen voor agrarische grondprijzen (Figuur 6.1; EEA, 2019). Het Nederlandse klimaat in 2050 zal naar verwachting vergelijkbaar zijn met het huidige klimaat in Zuidwest-Frankrijk.

Hoe bereidt de melkveehouderij in andere landen zich voor op gevolgen van toekomstige veranderingen in het klimaat? Voor de Nederlandse melkveehouderij is het vooral relevant om naar de aanpak te kijken in landen waar het huidige klimaat vergelijkbaar is met ons toekomstig klimaat (analoge klimaten). Daarom is met name naar studies gekeken uit landen die zich in de huidige gematigde klimaatzone bevinden (waaronder het grootste deel van Europa, Verenigde Staten en Canada, Nieuw Zeeland en Zuid-Australië). Daarnaast is voor twee landen in warmere klimaatzones, Israël en Oeganda, beschreven hoe de melkveehouders daar omgaan met droogte, hitte en extreme neerslag.



Figuur 6.1 Voorspelde impact van klimaatverandering op agrarische grondprijzen in 2071-2100 t.o.v. 1961-1990 (EEA, 2019).

6.1 Resultaten internationale literatuur

Door de European Environmental Agency (EEA, 2019) worden de volgende klimaatadaptatiemaatregelen gesuggereerd voor de melkveehouderij:

- Verbeteren van water- en bodembeheer, om gevolgen van wateroverlast te verminderen, infiltratie te verhogen en afvoer (en erosie) te verminderen, en bodemstructuur te verbeteren.
- Verbeteren irrigatie-efficiëntie door waterbesparing op bedrijfsniveau. Risico hierbij is een uitbreiding van geïrrigeerde gebieden waardoor waterverbruik juist kan toenemen.
- Systemen voor opvang en opslag van regenwater, om veerkracht tegen waterschaarste en droogte te verhogen.
- Precisielandbouw: reeks van technologieën (bv. GPS, drones) gericht op beheer van ruimtelijke en temporele variabiliteit van het veld door optimalisatie van inputs en opbrengsten (bv. meststoffen, brandstof, pesticiden, water), om gevolgen van weersextremen te verminderen.
- Landbouwgrond met hoge natuurwaarde (High Nature Value) met nadruk op extensieve beheerpraktijken (d.w.z., low input, lage veedichtheid, minimale grondbewerking, landschapselementen) t.b.v. een hogere bodemkwaliteit met een hogere wateropslagcapaciteit en weerbaarheid tegen droogte en wateroverlast.
- Aanpassen van de teeltplanning om te profiteren van betere vochtvoorziening vroeg in het seizoen en een verlengd groeiseizoen, en risico's op verliezen door droogte tijdens korrelzetting. Later planten kan ook nuttig zijn voor effectiever gebruik van regen en bodemvocht.

- Bodembedekkers, om het risico op bodemerrosie door weersextremen zoals extreme neerslag te verminderen, en bodemstructuur en -biodiversiteit, en infiltratie en retentie van water te verbeteren.
- Gebruik van andere gewassen.
- Geen of minimale grondbewerking ter behoud van bodemstructuur en organische stof (biologische, chemische en fysieke bodemeigenschappen).
- Gewasdiversificatie en -rotatie om risico's op oogstverliezen te spreiden, aangezien verschillende gewassen verschillend reageren op weersomstandigheden.
- Akkerranden om verplaatsing van water van bodem naar waterlopen te vertragen en erosie te verminderen.
- Fokken op hogere weerbaarheid van dieren in combinatie met een verbeterde diergezondheid.
- Verbeteren graslandmanagement om productiviteit en bodemkwaliteit te verbeteren, zoals verbeteringen in beweiding, bemesting, en gebruik van andere grassoorten en kruiden.
- Verbeteren schaduwvoorziening en ventilatie of -koelsystemen in stallen.
- Diversificatie van economische activiteiten om risico's te spreiden (meest voorkomende in EU zijn: zelf-zuivelen, werk buiten agrarische sector, bosbouw)

Voor melkveebedrijven in Noord-West Europa worden door Hopkins *et al.* (2007) de volgende adaptatiemaatregelen op bedrijfsniveau genoemd:

- Meer gebruik van geconserveerd voer voor opgestald vee
- Meer gebruik van maïs
- Meer gebruik van vlinderbloemigen in plaats van N-bemest gras
- Grotere mestopslag en verbeterde mesttoedieningssystemen
- Meer beregening, indien beschikbaar
- Begroten van extra voer voor droge seizoenen
- Alternatieve voedersoorten en -mengsels

Duitsland

In een literatuur review door Duitse onderzoekers (Gauly *et al.*, 2013) worden voor graslandmanagement de volgende adaptatiemaatregelen genoemd:

- Graslandmanagement zoals timing van maaien, beweidingsduur, en bemesting aanpassen aan veranderingen in grasgroei en -kwaliteit. Beregenen is kostbaar en mogelijk niet kosteneffectief.
- Inzet van vlinderbloemigen t.b.v. hogere stikstofvoorziening (op voorwaarde voldoende P), bv. luzerne of rolklaver. Witte klaver heeft een relatief hoge waterbehoefte.
- Meer diversiteit in botanische samenstelling van grasland, bijvoorbeeld dieper wortelende soorten zoals cichorei (Hayes *et al.*, 2010).

Maatregelen om hittestress of negatieve effecten van hittestress tegen te gaan:

- Verhogen van het energiegehalte (metabolizable energy) van het rantsoen om een lagere DS opname te compenseren.
- Koelen van drinkwater.
- Additieven zoals niacine (nicotinic acid) of CLA (conjugated linoleic acids) (Moore *et al.*, 2005).
- Voertijdstippen verplaatsen naar koelere tijdstippen (avond/nacht/ochtend).
- Koeling door schaduw, evaporatie (koelen door verdamping), ventilatie, 's nachts beweiden in plaats van overdag, of combinaties hiervan.
- Opnemen hittestresstolerantie als trait in fokprogramma's

België

In België hebben Nawara *et al.* (2021) op basis van literatuur, workshops en simulaties onderzocht met welke aanpassingen nutriëntenverliezen kunnen worden verminderd onder veranderende of extremere weersomstandigheden:

- Bij gras in combinatie met maïs (1 snede gras + maïs):
 - o Gras vroeger oogsten (2-3 weken) zodat het minder water onttrekt aan de bodem en organische bemesting vervroegd kan worden. Hierdoor kan maïs starten in vochtiger omstandigheden en de kans op opbrengstderving bij maïs dalen. De keerzijde is een lagere grasopbrengst.

- Gras als groenbedekker beschouwen en in maart onderwerpen, om maïs tijdig te kunnen zaaien. Grasopbrengst moet dan wel elders gecompenseerd worden, en derogatie is niet mogelijk.
 - Snijrogge in plaats van Italiaans raaigras omwille van een vroegere oogst van de snede (er is echter behoefte aan meer vergelijkend onderzoek naar agronomische waarde van rogge i.c.m. snijmaïs).
 - Graslandvernieuwing goed timen: vernieuwen in het voorjaar, of tussen half september en half oktober. Bij zomerdroogte of later in het najaar kan mineralisatie in de hand werken met hoeveelheden N die niet meer kunnen opgenomen worden door het nieuw ingezaaide gras.
 - Vroeger in voorjaar (tijdelijk) grasland scheuren en geen 1^e snede nemen. Op deze wijze komt de mineralisatie tijdig op gang en kan deze N leveren voor de volgende teelt (vaak maïs).
 - Droogtebestendiger grassoorten (bv. kropaar, rietzwenkgras). Deze soorten hebben echter een lagere voederwaarde en zijn minder of niet geschikt voor begrazing.
 - Voederbieten opnemen in rotatie is milieukundig interessant omdat ze tot laat in het seizoen N opnemen (kan echter slechts een beperkte oppervlakte beslaan vanwege plaats in rantsoen).
 - Vroegere maïsrassen, kunnen zowel de maïsogst als de inzaai van de vanggewassen vervroegen. Deze vroegere rassen geven meestal wel een lagere opbrengst.
 - Andere voedergewassen in de rotatie die:
 - beter bestand zijn tegen droogte (bv. rode klaver, luzerne, voederbieten),
 - groeien in een periode waarin droogte minder voorkomt (bv. veldbonen, mengteelt granen/veldbonen of erwten, gehele-plantsilage van wintergraan),
 - vroeger geoogst kunnen worden zodat inzaai van vanggewassen of gras/klaver of gras/luzerne tijdig kan gebeuren (bv. granen).
- Het nadeel van veel van deze gewassen is dat ze in een 'normaal jaar' inboeten aan opbrengst en/of voederwaarde ten opzichte van gras en maïs. Anderzijds is gewasdiversificatie op zichzelf een manier om te werken aan bodemkwaliteit en voldoende ruwvoervoorziening.
- Gelijkzaai of onderzaai van een vanggewas in de maïs, om het vanggewas een snellere start te geven na de oogst van de maïs en draagkracht bieden bij een oogst in nattere omstandigheden. Hierdoor wordt meer biomassa geproduceerd en zo meer koolstof in de bodem gebracht en meer N afgevangen. Dit is echter niet haalbaar in percelen met onkruidproblemen en er is risico op opbrengstderving in de maïs.

Verenigde Staten

In New York (Wisconsin) onderzochten Lane *et al.* (2019) hoe boeren en adviseurs de klimaat effecten op melkveebedrijven ervaren, hoe ze hierop anticiperen en in hoeverre dit de besluitvorming van boeren beïnvloedt. Hoewel melkveehouders hun bezorgdheid uitten over de gevolgen voor het klimaat, waren het vooral zakelijke factoren, zoals winstgevendheid, marktomstandigheden, overheidsregelgeving en beschikbaarheid van arbeidskrachten, die meer van invloed waren op hun besluitvorming. De sector is aanzienlijk geïntensiveerd in de periode van 2007-2017, o.a. met hogere productieniveaus - koeien met een hogere productie hebben eerder last van stijgende temperaturen aangezien hun eigen warmte productie hoger ligt en moeten meer moeite doen voor warmte afgifte. Persoonlijke ervaringen van boeren met extreem weer en seizoensveranderingen waren een motivatie om maatregelen te nemen, zoals bijvoorbeeld het verschuiven van plant- en oogstdata, het experimenteren met nieuwe gewassen of variëteiten in combinatie met nieuwe vruchtwisselingssystemen, het verbeteren van de drainage, het gebruik van bodembedekkende gewassen (cover crops) en het overschakelen op verminderde of geen grondbewerking.

Nieuw-Zeeland

In Nieuw-Zeeland concluderen Kalaugher *et al.* (2017) dat de effecten van klimaatverandering op landbouwsystemen sterk afhangen van de opzet en bedrijfsvoering van elk landbouwbedrijf. De maatregelen die zij hebben geïnventariseerd waren gebaseerd op de gangbare landbouwpraktijk in Nieuw-Zeeland:

- Vanwege de verwachting van een kleiner aandeel weiden wordt het vergroten van het aandeel graskuil in het rantsoen gezien als een eenvoudige en kansrijke adaptieve bedrijfsmaatregel, omdat er al bedrijven zijn die dit toepassen en hier ervaring mee hebben. Deze maatregel had een positief effect op het bedrijfsresultaat. In Nederland is het gebruik van graskuil en maïssilage algemeen goed en wordt juist gekeken of het aandeel weiden vergroot kan worden.

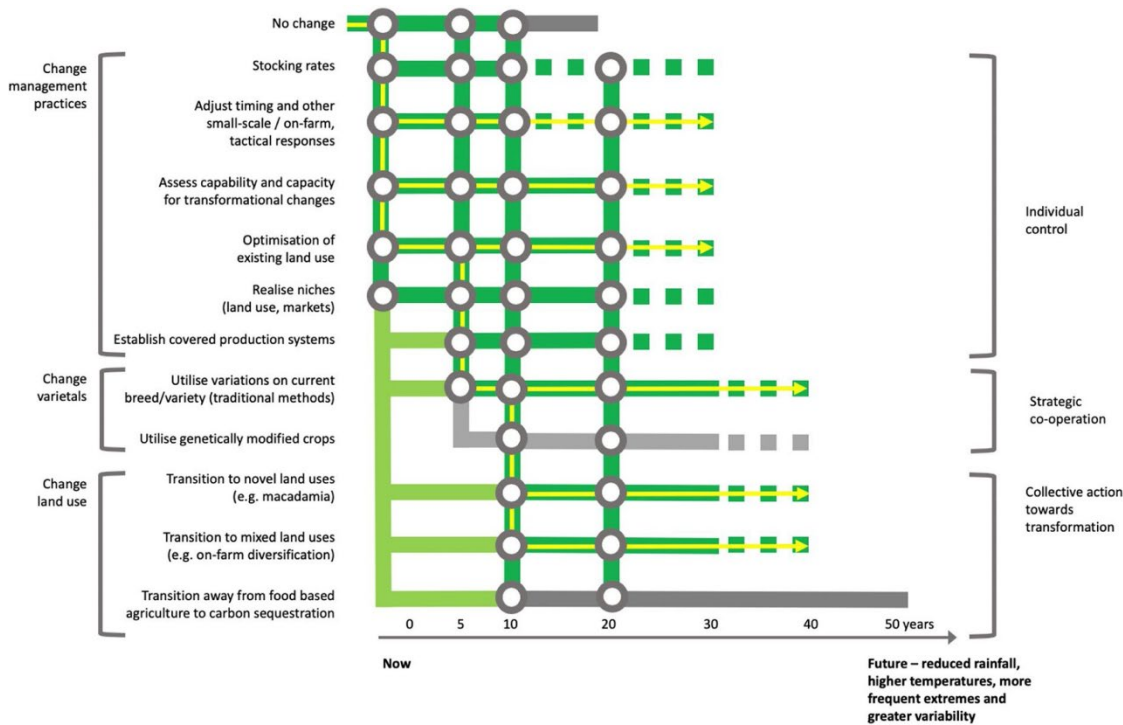
- Maïsproductie zou de productiezekerheid van ruwvoer kunnen vergroten vanwege de hoge efficiëntie van het watergebruik (Neal *et al.*, 2006; Fariña *et al.*, 2013). Beschikt moet kunnen worden over gewasvariëteiten die passen bij verschillende groeicondities, bijvoorbeeld gewassen die geschikt zijn voor verschillende oogst- en zaaidata (Phelan *et al.*, 2014).
- Irrigatie als maatregel had een algemeen positief effect op het bedrijfsinkomen, echter in de berekening zijn alleen de variabele kosten meegenomen en niet de vaste kosten.
- Het omzetten van Engels raaigras in Rietzwenkgras had een positief effect op de productie door het efficiëntere gebruik van water en de tolerantie voor zowel droogte als wateroverlast (Reed, 1996). Bovendien groeit rietzwenkgras beter in warmere klimaten dan Engels raaigras, met een optimale temperatuur van rond de 25 °C (Robson, 1973). Rietzwenkgras heeft echter een lagere voederwaarde, ondanks de vergelijkbare verteerbaarheid (Easton *et al.*, 1994). Het vraagt zodoende een zorgvuldig graslandbeheer en de vestiging na inzaai verloopt trager waardoor het risico op het mislukken van herinzaai groter is. Ook is rietzwenkgras minder competitief dan de gangbare goed gewaardeerde grassoorten.

Ook Lee *et al.* (2013) hebben in Nieuw Zeeland and Zuidoost Australië onderzoek gedaan naar klimaatveranderingseffecten en adaptatiemogelijkheden voor grasland gebaseerde melkveehouderijsystemen. Volgens hen zijn melkveehouders veerkrachtig en innovatief en al gewend om met klimaatvariabiliteit om te gaan. Evenals Kalaugher *et al.* (2017) onderscheidde zij adaptatiemaatregelen op tactisch en strategisch niveau. Als de ruwvoerproductie daalt door droogte of vernatting, kunnen boeren bijvoer gebruiken, de bezettingsgraad verminderen, irrigeren, of alternatieve gewassen zaaien met een grotere droogtetolerantie. Op grasland gebaseerde melkveehouderijsystemen hebben een hoog aanpassingsvermogen en vooral bij geringe neerslaghoeveelheden zijn er mogelijkheden om de productie-efficiëntie te blijven verbeteren.

In Hawke's Bay in Nieuw Zeeland werden in participatieve sessies met stakeholders uit diverse sectoren routekaarten ontwikkeld voor klimaatadaptatie in landbouwsystemen (Cradock-Henry *et al.*, 2020). Men ging daarbij uit van de volgende verwachte klimaatrisico's door veranderingen in neerslag (qua timing, hoeveelheid en beschikbaarheid): slechtere grasgroei, beperkte productiviteit, erosie (steiler terrein), overstroming, toename van ziekten en plagen, en vertrapping door dieren van drassige weiland in de winterperiode (hetgeen ook milieuproblemen veroorzaakt). Overstromingen zouden daarnaast slib op velden afzetten, hekken beschadigen en voorbereidingen op het volgende seizoen verstoren, met nadelige gevolgen voor gewasopbrengsten.

In de routekaart voor klimaatadaptatie (Figuur 6.2) werden drie categorieën onderscheiden:

- Veranderingen in managementpraktijken; meestal incrementele, reactieve aanpassingen binnen bestaande productiesystemen met nadruk op optimalisatie en efficiëntie. Deze worden veelal reeds getroffen om de huidige variatie in weersomstandigheden op te vangen. Voorbeelden zijn voederconservering, tijdelijk aanpassen van de bezettingsgraad, aanpassen inseminatie/afkalfdata aan verwachte veranderingen in grasgroeipatronen. Sommige aanpassingen kunnen ook een lange-termijn strategie worden, zoals bezettingsgraad permanent verlagen vanwege gemiddeld drogere omstandigheden.
- Veranderingen in variëteiten, rassen of soorten; zoals sub-tropische rassen of meer droogtetolerante rassen, bv. lucerne (*Medicago sativa* L.), Italiaans raaigras (*Lolium multiflorum*), Kikuyu gras, of cichorei (*Cichorium intybus* L.). Deze categorie behoeft meer investering dan de eerste categorie, en meer betrokkenheid van ketenpartners.
- Veranderingen in landgebruik; bijvoorbeeld huidig gebruik van gronden voor rundvee omzetten naar bosteelt in regio's die ongunstiger worden (bv. door risico's op erosie). In workshops bleek er weinig animo voor deze categorie te zijn, wat volgens auteurs beïnvloed is door professionele en persoonlijke identiteit, hetgeen adaptatievoorkeuren kan beïnvloeden (bv. Adger *et al.*, 2011; Fresque-Baxter and Armitage, 2012).



Figuur 6.2 Regionale routekaart voor landbouw in Hawke's Bay (Cradock-Henry et al., 2020). Groene lijnen geven aan hoe lang een aanpassingsoptie effectief is (donkergroen), of de voorbereidingstijd (lichtgroen). Stippellijnen geven aan dat de aanpassing gedeeltelijk kan bijdragen aan een oplossing. Grijs lijnen geven opties aan die zijn besproken maar (nu) niet kunnen worden toegepast (lichtgrijs) of niet de voorkeur hebben (donkergrijs). De gele lijn geeft de voorkeursreeks van opties weer van deelnemers in workshops. Cirkels geven het tijdstip aan waarop beslissingen moeten worden genomen of aanpassingsopties moeten worden gewijzigd.

Australië

In een simulatiestudie door Harrison et al. (2017) werden effecten gesimuleerd voor drie ontwikkelrichtingen: intensiveren (hogere melkproductie, uitbreiding veestapel, voeraankopen), simplificeren (verkleinen veestapel, minder voeraankopen), en adapteren (bedrijfsspecifieke aanpassingen in het bestaande systeem; vergroten/verkleinen veestapel, afkalfpatroon aanpassen naar herfst, meer irrigeren, total mixed ration (TMR) voeren). Geen van de ontwikkelrichtingen waren consistent gunstig voor alle regio's v.w.b. totale grasopbrengst en economische rendabiliteit, en jaarlijkse variatie. De auteurs concludeerden dat er geen blauwdruk is en adaptatierichtingen regionaal bepaald moeten worden met participatie van lokale experts en case study bedrijven. Daarnaast werd benadrukt dat klimaatverandering de benodigde hoeveelheid irrigatiewater sterk zal verhogen (5-6% per jaar in het meest drastische klimaatscenario), waarvoor in veel gebieden onvoldoende water beschikbaar is. Andere genoemde mogelijkheden voor klimaatadaptatie zijn: vroeger gras inzaaien, introduceren grassoorten geschikt voor wintergroei, vroeger bemesten (winter/vroege voorjaar); droogtetolerante, diepwortelende gewassen (bv. C4 soorten zoals Kikuyu of maïs).

In een onderzoek naar gevolgen van klimaatverandering in West Australië geven Sudmeyer et al. (2016) aan dat melkveehouders op korte termijn kleine aanpassingen moeten doorvoeren, maar zich ook moeten voorbereiden op meer drastische transformatie op de middellange en lange termijn. Voor gebieden met weinig neerslag wordt verwacht dat tegen 2050-2070 complete veranderingen van rantsoen nodig kunnen zijn. Door Sudmeyer et al. is een uitgebreide lijst adaptatiemaatregelen opgesteld voor de kortere termijn, welke is weergegeven in Tabel 6.1.

In een literatuuronderzoek naar de invloed van klimaatverandering op Australische melkveebedrijven op grasland beschrijven Chang-Fung-Martel et al. (2017) mogelijke adaptatiestrategieën. Genoemde strategieën zijn de introductie van hittestresstolerante veerassen, schaduw bieden, besproeien van dieren, beste kwaliteit voer aan het einde van de dag voeren, voeropslag, aangepaste beweidingsstrategie,

voedingssupplementen (betaine en antioxidanten), alternatieve grassoorten ('dryland pasture species') en gewassen die beter zijn aangepast aan klimaatextremen (bv. grasklaver, wintergranen, en C4 gewassen zoals mais, gierst en sorghum-sudangras ("Sudex")), verlagen bezettingsgraad, wateropslag en waterbesparing, aangepast mestgebruik, en verbeterde bestrijding van ziekten, plagen en onkruid. Bedrijven die adaptatiemaatregelen toepasten gedurende hittegolven lieten significant hogere dagelijkse melkproductieniveaus zien, en verwacht wordt dat de impacts van klimaatverandering met 50% gereduceerd worden. Het investeren in koeling gebaseerd op watergebruik (bv. besproeien) zou niet rendabel kunnen zijn voor gebieden waar de neerslag naar verwachting verder afneemt en/of beperkingen worden gesteld aan watergebruik.

Israël

In Israël zijn management- en veevoedingsmethoden afgestemd op de klimatologische omstandigheden en de beperkingen van land en water. Neerslag komt alleen in de winter voor, in een beperkt deel van het land, en in de zomer varieert de temperatuur van 22 tot 45 graden Celsius. Ondanks de extreme klimatologische omstandigheden wordt een hoge gemiddelde melkgift (11667 kg) gerealiseerd. Vanwege extreme hitte in de zomer wordt een kruising van het lokale ras Damascus en Fries-Hollandse koeien gebruikt ('Israëliësch-Fries ras'), met een hoge melkgift en goede resistentie tegen extreme hitte (zie ook andere voorbeelden van cross-breedingsprogramma's in Hoving *et al.* (2014)). Gedurende extreme hitte in de zomer nemen zowel de drogestofopname als de productie af met 15-20%, en neemt ook de vruchtbaarheid af. Om te voorkomen dat de lactatie tijdens de warmere maanden begint vindt afkalven plaats buiten de maanden april-juli, en ook vinden minder inseminaties plaats in deze periode vanwege verminderde vruchtbaarheid.

Het TMR rantsoen bestaat voor meer dan 90% uit kuilvoer, en er is daarom veel zorg voor een goed inkuilproces. Ruwvoer wordt in de winter verbouwd (m.n. tarwe voor kuilvoer, geschikt voor zowel graan- als voedergewassen; en winterpeulvruchten zoals wikke, klaver en erwten voor hooi). Ook maïs wordt verbouwd (30-40% van de totale kuilvoer) geïrrigeerd met duur, gerecycled water: gedeeltelijk gezuiverd rioolwater en regenwaterreservoirs. Kleinere hoeveelheden luzerne en tropische grassen (*Panicum* en sommige sorghum-type grassen) voor hooiproductie worden geïrrigeerd met brak water en rioolwater, respectievelijk. Voor droge koeien is tarwe- en haverhooi het belangrijkste voer, en tarwestro voor vaarzen en droge koeien. Gezien de beperkte hoeveelheid gecultiveerde en geïrrigeerde gronden in Israël wordt een groot deel van het overige voer geïmporteerd. (bron: <https://www.israeldairy.com/general-view-israeli-dairy-farming/>)

Shoshani and Hetzroni (2013) onderzochten wat de optimale staleigenschappen zijn voor hoogproductieve koeien in het mediterrane klimaat van Israël, met een nieuw stress model dat omgevingstemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid meeneemt. Ze concludeerden dat in vrijloopstallen het makkelijker is om hittestress te verlagen dan in ligboxenstallen. Als mogelijke oorzaken hiervoor geven ze aan dat over het algemeen de bezetting in vrijloopstallen lager is, en dat de luchtsnelheid in vrijloopstallen niet wordt onderbroken door ligboxen of andere obstructies in de ligboxenstal. Verder moet de longitudinale as van de stal loodrecht op de wind staan, voor optimale ventilatie bij natuurlijke ventilatie. Een open nok dak, pagodedak of openschuivend dak zijn de beste daken om de omgevingsomstandigheden te verbeteren. Uit een studie van Flamenbaum and Galon (2010a) in Israël bleek dat het intensief koelen van de koeien in de zomer potentie heeft om de lichaamstemperatuur op peil te houden en daarmee het bevruchtingspercentage en de melkproductie in de zomer gelijk te houden aan de winter.

Oeganda

In Zuid West Oeganda onderzocht De Vries (2018) gevolgen van periodes van langdurige droogte en extreme neerslag op de melkveehouderij. Oeganda kent 4 seizoenen (2 droge- en 2 regenseizoenen). Het rantsoen bestaat voornamelijk uit weidegras, en in normale jaren wordt gedurende de droge seizoenen bijgevoerd met gewasresten. In extreem droge jaren is er een hogere sterfte van jongvee en koeien, hogere ziekteprevalentie (bv. Anaplasmosis, mond- en klauwzeer), daling in melkproductie en reproductie, meer abortussen, lage marktprijzen voor dieren vanwege slechte conditie, en verdringing van goede grassoorten door ongewenste grassoorten en onkruiden in grasland. In jaren met extreme neerslag kwamen meer uitbraken van ziektes voor (vooral tick borne zoals East Coast Fever) en was er een lagere melkproductie door ziekten, en onvoldoende grasproductie door wateroverlast. In de regio zorgden extreme droogte tevens voor hongersnood, armoede, ziekteuitbraken, gebrek aan schoon water, migratie en conflicten. Hierdoor stortten ook afzetmarkten voor melk en vlees in. Adaptatiestrategieën van Ugandese melkveehouders tijdens langdurige droogte en bij extreme neerslag omvatten: verhogen aandeel industriële bijproducten en

gewasresten in het rantsoen, andere beweidingstrategieën toepassen, onkruid bestrijden, 's nachts weiden, extra land huren en verkleinen van de veestapel (bv. door verkoop of tijdelijke migratie van dieren). Voor extreme neerslag zagen melkveehouders het meest perspectief in ontwormen en vaccinatie, migreren van dieren, wateropslagsystemen, en het omheinen van percelen.

Diverse landen

In een literatuur review door Dos Santos *et al.* (2021) zijn hittestress verminderende maatregelen in verschillende landen op een rij gezet:

- Schaduw creëren (Australië, Nieuw-Zeeland en Brazilië),
- Koelen met behulp van een ventilator, en eventueel een vernevelaar (Italië en de Verenigde Staten),
- Gebruik van voedingssupplementen (zoals verzadigde vetzuren en Chromium) (China en Iran),
- Genetische selectie, bv. een fenotype met gladde vacht gunstig voor de thermoregulatie van tropische rassen zoals Creoolse koeien (Pitt *et al.*, 2019).

Tabel 6.1 Maatregelen voor melkveehouders in Australië opgesteld door Sudmeyer et al. (2016).

Categorie	Principe	Maatregelen
Huisvesting en gezondheid	Zorg voor schaduw, onderdak, en koelsystemen	- Schaduw (bomen/constructie) voor dieren, voer en water. - Geef verdampingskoeling - Zorg voor koel en schoon water.
	Gebruik rassen of lijnen die beter bestand zijn tegen hitte, of andere diersoorten	Brahman en kruisingen, schapen en geiten i.p.v. runderen, fokken op tolerantie t.a.v. ziekten en parasieten, within-breed selection for heat tolerance
		Aanpassen afkalldata
Ruwproductie en -kwaliteit	Efficiëntere benutting regenwater	Opheffen fysieke barrières voor wortelgroei: - drainage om wateroverlast tegen te gaan - diepploegen - gips aanwenden voor verbetering bodemstructuur - beperkt berijden - verhogen OS gehalte bodem
		Opheffen chemische barrières voor wortelgroei: - adequate nutriëntenvoorziening - kalk aanwenden (pH) - drainage om sodiciteit te verminderen (natrium in irrigatiewater)
		Grassoorten/species die het bodemprofiel beter benutten: - wortelmorfologie (diep vs lateraal) - tolerantie voor chemische of fysieke bodem beperkingen (bv. pH, boron, aluminium; verdichte lagen)
		Vochtvasthoudend vermogen verbeteren: - verhogen OS gehalte bodem - diepploegen - gips aanwenden voor verbetering bodemstructuur - beperkt berijden - klei aanwenden ("claying")
		Boomwortels verwijderen
		Verhogen diepe infiltratie van regenwater om evaporatie te verminderen
		Afspoeling van water voorkomen
	Gebruik aangepaste grassoorten en variëteiten	- Droogte- en hitteresistente grassen ('stay-green varieties') - Betere benutting van verhoogde CO ₂ in lucht om waterefficiëntie te verbeteren - Ziekteresistente soorten/variëteiten
	Graan en gras strategieën	- Dubbeldoel gewassen, zoals grazing crops (backup winterproductie voor droge jaren, bv. cereals, canola) - wintergewassen in blijvend grasland - hogere intensiteit en korte duur rotatie grazen
	Precisielandbouw	- remotely sensed data to map productivity - bodem bemonstering - aanpassen bemesting naar opbrengst potentieel en bodemonster resultaten
	Voerconservering	Hooi, kuil.
	Voeren	- Opstallen en bijvoeren in zomer/herfst. - Bij hitte voldoende structuur voeren (stabiel rumen, energie); weinig energie in de ochtend, veel energie in avond voeren; activiteit overdag beperken
Goede kwaliteit drinkwater		- Ontwerp dammen en stroomgebieden - Behandel stroomgebieden met chemische sealants - Plan hogere investering in watertanks en dammen - Efficiënte irrigatie, hergebruik water voor stal en irrigatie - Bij hitte meer drinkwaterpunten
Beperken bodemerrosie		- Begrazingsmanagement t.b.v. bodembedekking - Windbrekers op erosiegevoelige stukken - Klei aanbrengen - Onderhouden begroeide bufferstrook watergangen
Gebruik beslistools		- Gebruik tools, bv. gewasopbrengstmodellen met utilisation rates, seizoens- en lange termijn weersvoorspellingen, remotely sensed production data en bodem/water berekeningen, bv. voor besluiten over: bijvoeren, tijdig aanvoeren extra voer, tijdig plannen uitbesteding (jong)vee, aanpassen veedichtheid aan voerbeschikbaarheid, afkalldata - zorg voor een (extreme) hitteplan en hitteprotocollen voor verplaatsen en transporteren
Beperken bedrijfsrisico		- Combinatie van (rotatie)grazen, bijvoeren en voederconservering om variatie op te vangen - Gemengde bedrijfsvoering, bv. markten voor gewasresten (bv vergisting, compost), nieuwe agrarische producten (bv. koolstofboeren, innovatieve agrarische producten) - Vergroten bedrijf (schaal efficiëntie) - All-risk verzekering - Inkomsten van nevenactiviteiten (off-farm)

7 Discussie & conclusie

Het doel van deze studie was om op basis van nationale en internationale literatuur gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij in kaart te brengen en een inventarisatie te maken van klimaatadaptatiemaatregelen die potentieel geschikt zijn voor melkveebedrijven in de Achterhoek. Vanwege de focus op de Achterhoek was de inventarisatie van maatregelen afgebakend naar het voorkomen van nadelige gevolgen van droogte en hitte, zijnde belangrijke veranderingen voor deze regio.

Gevolgen van klimaatverandering

Globale bevindingen t.a.v. gevolgen van klimaatverandering voor de melkveehouderij in de Achterhoek zijn als volgt:

- Gewasopbrengsten kunnen enerzijds stijgen door hogere temperaturen, een langer groeiseizoen en een hogere CO₂ concentratie in de atmosfeer; maar anderzijds kunnen dalen door langdurige droogteperiodes en hitte (en indirect door ziekten, plagen en onkruiden). Daarbij is maïs minder gevoelig voor droogte en hitte dan gras. Ook kunnen er nadelige effecten zijn op de voederwaarde, en op de graszode.
- Technische dierprestaties, diergezondheid en dierenwelzijn kunnen nadelig beïnvloed worden vanwege een toename in hittestress, rantsoenveranderingen en veranderingen in de infectiedruk.
- Economisch bedrijfsresultaat kan zowel positief als negatief uitpakken, aangezien er zowel positieve effecten (hogere gewasopbrengst, hogere melkprijzen door schaarste) als negatieve effecten (opbrengstdervingen, prijsstijgingen grondstoffen) een rol spelen a.g.v. klimaatverandering.
- Milieuprestaties kunnen verslechteren door veranderingen in het klimaat, met name t.a.v. nutriëntenverliezen.

Van belang is te realiseren dat klimaatrisico's ook anders kunnen uitpakken in de praktijk door onzekerheden in klimaatscenario's, verschillen tussen bedrijven en regio's, andere factoren die mede een rol spelen zoals veranderingen in beleid en markt, en toepassing van adaptatiemaatregelen zoals beregening. Zo bevestigen praktijkobservaties in de periode 2018-2020 dat droogte en hitte grote invloed hadden op gewasopbrengsten, met forse nutriëntenoverschotten, maar ook dat er grote verschillen waren tussen bedrijven en regio's, en dat het gemiddelde melkproductieniveau en het gemiddelde economisch bedrijfsresultaat niet lager waren dan in de voorgaande periode.

Een vraag is in hoeverre klimaatrisico's momenteel voldoende in beeld zijn gebracht voor de Nederlandse melkveehouderij. Immers, om effectief adaptatiemaatregelen te treffen moet duidelijk zijn tegen welke klimaatrisico's de melkveehouderij zich moet weren. In de huidige studie zijn een aantal studies gevonden die zich richten op de gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse melkveehouderij, variërend van een kwantitatieve analyse op bedrijfsniveau (Paas, 2013; Paas *et al.*, 2016) of alleen voor grasteelt (Kroes and Supit, 2011), tot een semi-kwantitatieve analyse (agro-klimaat kalender door Schaap *et al.*, 2014). Het doen van aanvullende modelstudies is van belang om verder inzicht te krijgen in de implicaties van klimaatverandering op melkveebedrijven, inclusief mogelijke verschillen tussen bedrijven (context-specifieke benadering, zoals ook aangegeven in het Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw; Min LNV, 2020). Daarin kunnen de nieuwe KNMI klimaatscenario's meegenomen worden. Een bekende tekortkoming van studies in het verleden is dat alleen effecten van geleidelijke veranderingen in klimaat werden meegenomen (bv. temperatuurstijging en CO₂ concentratie), en weersextremen buiten beschouwing gelaten, waardoor gevolgen van klimaatverandering vaak te optimistisch werden ingeschat (Harrison *et al.*, 2017). Voorbeelden van andere modelstudies staan beschreven in paragraaf 3.2.2. Bij voorkeur worden in modelstudies ook niet-klimatologische stressoren meegenomen in de analyse (Reidsma *et al.*, 2015).

Potentiële adaptatiemaatregelen

In deze studie zijn ruim 50 adaptatiemaatregelen geïdentificeerd, potentieel geschikt voor toepassing op melkveebedrijven in de Achterhoek. De maatregelen hebben betrekking op waterbeheer (9 maatregelen), bodembeheer (6), gras en weidegang (9), teeltmaatregelen (6), gewaskeuze (4 tactieken),

ruwvoermanagement en rantsoen (9), diermanagement (6) en huisvesting (9). Wat opvalt is het grote aantal maatregelen, wat aangeeft dat in diverse bedrijfsonderdelen aan klimaatadaptatie gewerkt moet worden.

Wat ook opvalt is dat een groot aantal van de opgenomen maatregelen reeds bekende 'goede landbouwpraktijk' betreft. In de evaluatie van de toepasbaarheid van maatregelen voor melkveebedrijven in de Achterhoek werd door melkveehouders dan ook aangegeven dat veruit de meeste maatregelen (78%) al werden toegepast op hun bedrijven. Dit was te verwachten, aangezien Nederlandse melkveehouders zich al sinds jaar en dag met goede landbouwpraktijken (GLP) aanpassen aan fluctuaties in weersomstandigheden, inclusief droge en natte, en warme en koude omstandigheden. Hetzelfde beeld komt naar voor uit andere literatuur: voor veel gesignaleerde klimaatsico's zijn adaptatiemaatregelen voor handen en is adaptatie goed mogelijk binnen de huidige agrarische bedrijfsvoering in Nederland (Project Klimaat en landbouw in Noord-Nederland, 2011; Schaap *et al.*, 2014).

Dit betekent echter niet dat bedrijven al voldoende aangepast zijn, maar dat met het toenemen van klimaatverandering, met name het vaker en intenser voorkomen van weersextremen, het méér en/of beter toepassen van deze goede landbouwpraktijken van belang zal zijn. Om hierop in te spelen zou een checklist met goede landbouwpraktijken voor klimaatadaptatie uitgewerkt kunnen worden. Voorbeelden van dergelijke maatregelen uit deze studie zijn: verbeteren bodemstructuur en bodemkwaliteit; voorkomen van bodemverdichting en structuurbederf; bodemchemie op peil houden; vanggewassen en onderzaai toepassen; adequate beheersing van ziekten, plagen en onkruiden; adequate bemesting; goed inkuilen, bewaren en uitkuilen; adequate waterversprekking; adequate biestversprekking; ligbedden, koeien en vloeren schoon en droog houden; insecten en ongedierte bestrijden; etc.

Ook de maatregelen gevonden in internationale literatuur (H6) bleken veelal reeds bekend in de Nederlandse melkveehouderijpraktijk, zoals voerconservering, begroten van voldoende bijvoer, irrigatie, drainage, etc. Sommige maatregelen hebben in recente jaren meer bekendheid gekregen in Nederland vanwege droogtejaren, zoals aanpassingen in de botanische samenstelling van grasland (grassen en kruiden), maatregelen tegen hittestress (bv. ventilatie, beweidingsregime aanpassen), etc. Enkele andere maatregelen zijn minder passend in de Nederlandse context, zoals koeien permanent opstallen en klimaatcontrole (beweidings is een belangrijk thema voor het imago van de Nederlandse melkveehouderij). Volgens melkveehouders in de KLIMEA kennisgroep zijn de belangrijkste maatregelen en aandachtspunten uit de internationale literatuurverkenning:

- Gewasdiversificatie en vruchtwisseling:
 - Gewasproductie verschuiven naar winterhalfjaar (wintergraan)
 - Droogtetolerant (voederbieten, kruiden, tropische gewassen)
 - Gewassen met hoog energie- en eiwitgehalte (lagere opname bij hitte)
- Hoger aandeel geconserveerd voer door beperking weidegang
- Bodembedekkende gewassen en beperkte grondbewerking
- Meer industriële bijproducten en gewasresten in rantsoen
- Aandacht voor nutriëntenverliezen i.v.m. opbrengstverlies
- Optimaliseren stalinrichting en verschuiven voertijdstoppen
- Genetische selectie vee (productiviteit en hittestress)
- Sturen op 'klimaatvariatie' en minder op 'klimaatverandering'

Zinnige adaptatiemaatregelen voor melkveebedrijven in de Achterhoek

Door melkveehouders en stakeholders werd aangegeven dat een aantal maatregelen zinvol zijn voor toepassing op melkveebedrijven in de Achterhoek (H5). Opvallend hierbij was dat vooral maatregelen gerelateerd aan bodembeheer door alle stakeholders (unaniem) werden beschouwd als zinnige maatregelen, mogelijk vanwege recente aandacht voor de belangrijke rol van de bodem, en omdat er diverse gunstige neveneffecten te verwachten zijn (gewasopbrengsten, biodiversiteit, waterkwaliteit, klimaat). Het werken aan bodembeheer mag beschouwd worden als een no-regret optie. Andere maatregelen die hoog scoorden waren diverse maatregelen gerelateerd aan graslandmanagement, beweidingsregimes (incl. opstallen), andere voederplanten en teelttechnieken, goed in-/uitkuilmanagement, diermanagement en huisvesting. Een groot deel van deze maatregelen betreft GLP en zou in een checklist kunnen worden opgenomen (zie vorige paragraaf).

Enkele andere maatregelen werd zinvol en interessant bevonden, maar werden niet/nauwelijks door melkveehouders in de KLIMEA kennisgroep toegepast. Dit betrof met name technieken om water langer vast te kunnen houden op het bedrijf (bv. sub-irrigatie, regelbare drainage, dynamisch peilbeheer), nieuwe voedergewassen, en maatregelen om hittestress te verminderen (andere beweidingsregimes en stalmaatregelen, bv. koelen, vernevelen). Voor deze maatregelen moet praktijkervaring worden opgebouwd en/of nadere verkenning, uitwerking en onderzoek. Voor sommige maatregelen moeten afwentelingen worden opgelost (of geaccepteerd), zoals opstallen tijdens droogte en hitte.

Over het algemeen geldt dat de onzekerheid in klimaatscenario's de inspanningen voor klimaatadaptatie bemoeilijkt. Risicospreiding door diversificatie, maar ook flexibiliteit is daarom een belangrijke pijler in klimaatadaptatie wanneer de toekomst anders uitpakt dan was voorspeld (Bane *et al.*, 2021). Bijvoorbeeld door te kunnen omschakelen naar een andere teelt. Volgens Neil Adger *et al.* (2005) zijn er twee indicatoren die de effectiviteit van een adaptatiemaatregel bepalen: robuustheid tegen onzekerheid en flexibiliteit (d.w.z., in staat zijn om aan te passen bij veranderende omstandigheden). Het gebruik van een routekaart waarin alternatieve routes worden uitgezet voor klimaatadaptatie, dus ook als het beter of slechter uitpakt, kan daarbij behulpzaam zijn (zie bv. Haasnoot *et al.*, 2013; Cradock-Henry *et al.*, 2020).

Aanbevelingen

Op basis van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Verder in kaart brengen van klimaatrisico's voor de Nederlandse melkveehouderij t.a.v. technische bedrijfsresultaten en milieuprestaties, o.b.v. nieuwste KNMI scenario's, met specifieke aandacht voor verschillen in bedrijfstypen en locaties/context.
- Ontwikkelen van een checklist voor goede landbouwpraktijken (GLP) die van belang zijn voor klimaatadaptatie (met nadruk op goed bodembeheer). Daarbij vooral inspelen op de toename in 'klimaatvariatie' en minder op 'klimaatverandering' (Harrison *et al.*, 2017).
- Verdere verkenning en uitwerking van (de effectiviteit van) innovatievere maatregelen in deze studie, incl. maatregelen gesuggereerd door melkveehouders (Bijlage 2).
- Modelstudies om effecten van maatregelen voor klimaatadaptatie door te rekenen in scenario-analyses onder toekomstige weersomstandigheden, inclusief verdienmodel en integrale effecten op duurzaamheidsthema's (bv. nutriëntenverliezen, broeikasgasemissies). In KLIMEA wordt bijvoorbeeld gewerkt aan een analyse van de kosteneffectiviteit van beregeningsstrategieën in de Achterhoek m.b.v. het Waterpas model.

8 Literatuur

- Ahmad Para, I., Ahmad Dar, P., Ahmad Malla, B., Punetha, M., Rautela, A., Maqbool, I., Mohd, A., Ahmad Shah, M., Ahmad War, Z., Ishaq, R., Akram Malla, W., Ahmad Sheikh, A., Rayees, M., 2020. Impact of heat stress on the reproduction of farm animals and strategies to ameliorate it. *Biological Rhythm Research* 51, 616-632.
- Akker, J.J.H.v.d., Vries, F.d., Vermeulen, G.D., Hack-ten Broeke, M.J.D., Schouten, T., 2013. Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied kaart. Alterra, Wageningen-UR, Wageningen.
- Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V.P., Pragna, P., Lees, A.M., Sejian, V., 2019. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science* 126, 94-102.
- Baile, C.A., Forbes, J.M., 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiol Rev* 54, 160-214.
- Bakema, G., Bloem, M., Heinen, M., Knotters, M., Rooijen, N.v., 2022. De invloed van klimaatverandering op de bodemtemperatuur: Inventarisatie van de ontwikkeling van de bodemtemperatuur en de invloed op de biotische en abiotische processen in natuurgebieden. Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Bakema, G., Heinen, M., Knotters, M., Rooijen, N.v., 2023. De opwarming van de bodem en de gevolgen voor de natuur. Wageningen Environmental Research, rapport 3256, Wageningen.
- Bane, M.S., Pocock, M.J.O., Gibert, C., Forster, M., Oudoire, G., Derocles, S.A.P., Bohan, D.A., 2021. Farmer flexibility concerning future rotation planning is affected by the framing of climate predictions. *Climate Risk Management* 34, 100356.
- Bartholomeus, R.P., Van den Eertwegh, G.A.P.H., Cirkel, D.G., 2016. Hergebruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen. BTO 2016.050: KWR Watercycle Research Institute.
- Bassin, S., Volk, M., Fuhrer, J., 2007. Factors affecting the ozone sensitivity of temperate European grasslands: An overview. *Environmental Pollution* 146, 678-691.
- Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Jr., 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu Rev Anim Biosci* 1, 311-337.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B., Nardone, A., 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4, 1167-1183.
- Bezdiček, J., Nesvadbová, A., Makarevich, A., Kubovičová, E., 2021. Negative impact of heat stress on reproduction in cows: Animal husbandry and biotechnological viewpoints: A review. *Czech Journal of Animal Science* 66, 293-301.
- Calegari, F., Calamari, L., Frazzi, E., 2012. Misting and fan cooling of the rest area in a dairy barn. *International Journal of Biometeorology* 56, 287-295.
- Chang-Fung-Martel, J., Harrison, M.T., Rawnsley, R., Smith, A.P., Meinke, H., 2017. The impact of extreme climatic events on pasture-based dairy systems: a review. *Crop and Pasture Science* 68, 1158-1169.
- Chapman, D.S., Augé, R.M., 1994. Physiological Mechanisms of Drought Resistance in Four Native Ornamental Perennials. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 299-306.
- Christidis, N., Jones, G.S., Stott, P.A., 2015. Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change* 5, 46-50.
- Cirkel, D.G., van den Eertwegh, G.A.P.H., Stofberg, S.F., Bartholomeus, R.P., 2017. Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouwwatervoorziening. BTO 2017.009. KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/55133088/>.
- Coleman, D.A., Moss, B.R., McCaskey, T.A., 1996. Supplemental Shade for Dairy Calves Reared in Commercial Calf Hutches in a Southern Climate. *Journal of Dairy Science* 79, 2038-2043.
- Collier, R.J., Dahl, G.E., VanBaale, M.J., 2006. Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 89, 1244-1253.
- Cradock-Henry, N.A., Blackett, P., Hall, M., Johnstone, P., Teixeira, E., Wreford, A., 2020. Climate adaptation pathways for agriculture: Insights from a participatory process. *Environmental Science & Policy* 107, 66-79.
- Dahl, G.E., Tao, S., Laporta, J., 2020. Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Frontiers in Veterinary Science* 7.
- Daramola J.O., Abioja M.O., O.M., O., 2012. Heat Stress Impact on Livestock Production. . *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*. Sejian V., Naqvi S., Ezeji T., Lakritz J., Lal R. (eds) Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_3.
- De Haan, M.H.A., K. Verloop, Hilhorst, G., 2019. Droogte op Koeien & Kansen-bedrijven in 2018. Praktijkervaringen. Rapport nr. 84 Februari 2019. Wageningen Livestock Research.
- de Vos, J.A., van Bakel, P.J.T., Hoving, I.E., Conijn, J.G., 2006. Waterpas-model: A predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agricultural Water Management* 86, 187-195.
- De Vries, M., 2018. Vulnerability and adaptation strategies of dairy farming systems to extreme climate events in southwest Uganda. Results of CSA-PRA workshops. Wageningen Livestock Research, Wageningen, the Netherlands.
- De Vries, M., Vellinga, T.V., Hoving, I.E., Van Middelkoop, J., Ten Napel, J., Verhagen, J., Van der Weide, R., 2018. Klimaatsslimme melkveehouderij. Een routekaart voor implementatie van mitigatie- en adaptatiemaatregelen (Climate smart dairy farming: A roadmap for implementation of climate change mitigation and adaptation measures). Wageningen Livestock Research report 1131. Wageningen Livestock Research, The Netherlands.
- Dellar, M., Topp, C.F.E., Banos, G., Wall, E., 2018. A meta-analysis on the effects of climate change on the yield and quality of European pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265, 413-420.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage, Paper 33*. FAO, Rome, p. 193.

- Dos Santos, M.M., Souza-Junior, J.B.F., Dantas, M.R.T., De Macedo Costa, L.L., 2021. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- EAA, 2019. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report No 04/2019. European Environment Agency, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eekelder, J., Hilhorst, G., 2021. Resultaten KringloopWijzer 2013-2020. Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers. Vruchtbare Kringloop Achterhoek en Liemers.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J., Leemans, R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107, 101-116.
- Fariña, S.R., Alford, A., Garcia, S.C., Fulkerson, W.J., 2013. An integrated assessment of business risk for pasture-based dairy farm systems intensification. *Agricultural Systems* 115, 10-20.
- Fitzgerald, J.B., Brereton, A.J., Holden, N.M., 2009. Assessment of the adaptation potential of grass-based dairy systems to climate change in Ireland—The maximised production scenario. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 244-255.
- Flamenbaum, I., Galon, N., 2010a. Management of heat stress to improve fertility in dairy cows in Israel. *Journal of Reproduction and Development* 56(S), S36-S41.
- Flamenbaum, I., Galon, N., 2010b. Management of Heat Stress to Improve Fertility in Dairy Cows in Israel. *Journal of Reproduction and Development* 56, S36-S41.
- Galán, E., Llonch, P., Villagrà, A., Levit, H., Pinto, S., del Prado, A., 2018. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PLoS One* 13, e0206520.
- Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Danicke, S., Das, G., Demeler, J., Hansen, H., Isselstein, J., König, S., Loholter, M., Martinsohn, M., Meyer, U., Potthoff, M., Sanker, C., Schroder, B., Wrage, N., Meibaum, B., von Samson-Himmelstjerna, G., Stinshoff, H., Wrenzycki, C., 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. *Animal* 7, 843-859.
- Gisbert-Queral, M., Henningsen, A., Markussen, B., Niles, M.T., Kebreab, E., Rigden, A.J., Mueller, N.D., 2021. Climate impacts and adaptation in US dairy systems 1981-2018. *Nature Food* 2, 894-901.
- Grange, G., Finn, J.A., Brophy, C., 2021. Plant diversity enhanced yield and mitigated drought impacts in intensively managed grassland communities. *Journal of Applied Ecology* 58, 1864-1875.
- Gregorich, E.G., Janzen, H., Ellert, B.H., Helgason, B.L., Qian, B., Zebarth, B.J., Angers, D.A., Beyaert, R.P., Drury, C.F., Duguid, S.D., May, W.E., McConkey, B.G., Dyck, M.F., 2017. Litter decay controlled by temperature, not soil properties, affecting future soil carbon. *Global Change Biology* 23, 1725-1734.
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J., 2013. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* 23, 485-498.
- Hahn, G., 1985. Management and housing of farm animals in hot environments. *Stress physiology in livestock. Volume II. Ungulates.*, 151-174.
- Hamel, J., Zhang, Y., Wente, N., Krömker, V., 2021. Heat stress and cow factors affect bacteria shedding pattern from naturally infected mammary gland quarters in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 104, 786-794.
- Hanegraaf, M.C., Elsen, H.G.M.v.d., Haan, J.J.d., Visser, S.M., 2019. Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795.
- Harrison, M.T., Cullen, B.R., Armstrong, D., 2017. Management options for dairy farms under climate change: Effects of intensification, adaptation and simplification on pastures, milk production and profitability. *Agricultural Systems* 155, 19-32.
- Hayes, F., Mills, G., Jones, L., Abbott, J., Ashmore, M., Barnes, J., Neil Cape, J., Coyle, M., Peacock, S., Rintoul, N., Toet, S., Wedlich, K., Wyness, K., 2016. Consistent ozone-induced decreases in pasture forage quality across several grassland types and consequences for UK lamb production. *Science of The Total Environment* 543, 336-346.
- Hayes, R.C., Dear, B.S., Li, G.D., Virgona, J.M., Conyers, M.K., Hackney, B.F., Tidd, J., 2010. Perennial pastures for recharge control in temperate drought-prone environments. Part 1: productivity, persistence and herbage quality of key species. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53, 283-302.
- Hempel, S., Menz, C., Pinto, S., Galán, E., Janke, D., Estellés, F., Müschner-Siemens, T., Wang, X., Heinicke, J., Zhang, G., Amon, B., del Prado, A., Amon, T., 2019. Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts. *Earth Syst. Dynam.* 10, 859-884.
- Henry, B.K., Eckard, R.J., Beauchemin, K.A., 2018. Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal* 12, s445-s456.
- Herbut, P., Angrecka, S., Godyń, D., Hoffmann, G., 2019. The Physiological and Productivity Effects of Heat Stress in Cattle – A Review. *Annals of Animal Science* 19, 579-593.
- Hermans, C.M.L., Geijzendorffer, I.R., Ewert, F., Metzger, M.J., Vereijken, P.H., Woltjer, G.B., Verhagen, A., 2010. Exploring the future of European crop production in a liberalised market, with specific consideration of climate change and the regional competitiveness. *Ecological Modelling* 221, 2177-2187.
- Hewitt, D.K.L., Mills, G., Hayes, F., Wilkinson, S., Davies, W., 2014. Highlighting the threat from current and near-future ozone pollution to clover in pasture. *Environmental Pollution* 189, 111-117.
- Hicks Pries, C.E., Castanha, C., Porras, R.C., Torn, M.S., 2017. The whole-soil carbon flux in response to warming. *Science (New York, N.Y.)* 355, 1420-1423.
- Hoekstra, N., Sleiderink, J., van Eekeren, N., 2022. Monoculturen versus kruidenmengsels. *Vfocus maart 2022*, blz.32-34.
- Hoving, I.E., Boer, J.A.d., Kanis, J., 2013. Schadeberekening graslandinundatie op melkveebedrijven = Damage calculation grassland floods on dairy farms. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Hoving, I.E., M.W.J. Stienezen, S.J. Hiemstra, Dooren, H.J.v., Buissonjé, F.E.d., 2014. Adaptation of livestock systems to climate change; functions of grassland, breeding, health and housing. *Livestock Research Report* 793. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Wageningen.
- Hoving, I.E., Schaap, J., Medenblik, J., de Vries, S., Dost, R., 2023. Klimaat robuust waterbeheer Friese zandgronden; Resultaten modelberekeningen en praktijkpilots watervasthoudende maatregelen. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1427.

- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.) (Ed.).
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Bezemer, T.M., Bonin, C., Bruelheide, H., de Luca, E., Ebeling, A., Griffin, J.N., Guo, Q., Hautier, Y., Hector, A., Jentsch, A., Kreyling, J., Lanta, V., Manning, P., Meyer, S.T., Mori, A.S., Naeem, S., Niklaus, P.A., Polley, H.W., Reich, P.B., Roscher, C., Seabloom, E.W., Smith, M.D., Thakur, M.P., Tilman, D., Tracy, B.F., van der Putten, W.H., van Ruijven, J., Weigelt, A., Weisser, W.W., Wilsey, B., Eisenhauer, N., 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526, 574-577.
- Ji, B., Banhazi, T., Perano, K., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C., Li, B., 2020. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosystems Engineering* 199, 4-26.
- Juroszek, P., von Tiedemann, A., 2015. Linking Plant Disease Models to Climate Change Scenarios to Project Future Risks of Crop Diseases: A Review. *Journal of Plant Diseases and Protection* 122, 3-15.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 77, 59-91.
- Kalaugher, E., Beukes, P., Bornman, J.F., Clark, A., Campbell, D.I., 2017. Modelling farm-level adaptation of temperate, pasture-based dairy farms to climate change. *Agricultural Systems* 153, 53-68.
- Kimaro, E.G., Toribio, J.-A.L.M.L., Mor, S.M., 2017. Climate change and cattle vector-borne diseases: Use of participatory epidemiology to investigate experiences in pastoral communities in Northern Tanzania. *Preventive Veterinary Medicine* 147, 79-89.
- King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J., Unc, A., 2018. Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate change. *Sci Rep* 8, 7904.
- Kjøhl, M., Nielsen, A., Stenseth, N.C., 2011. Potential effects of climate change on crop pollination. Food and agriculture organization of the united nations, Rome.
- Klootwijk, C.W., van Schooten, H.A., 2020. Effect van ruitzaai en drijfmestrijenbemesting op de stikstofbenutting van snijmaïsteelt. Wageningen Livestock Research, Rapport 1256.
- KNMI, 2015. KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. KNMI, De Bilt, p. 34.
- KNMI, 2021. KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert. KNMI, De Bilt, p. 72.
- Knutti, R., Sedláček, J., 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change* 3, 369-373.
- Kroes, J.G., Supit, I., 2011. Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in The Netherlands using historical and future climate data. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144, 370-381.
- Krömker, V., Paduch, J.-H., Bormann, A., Friedrich, J., Zinke, C., 2010. Microbiological procedures for the assessment of bedding materials and the environmental mastitis risk. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Grosstiere - Nutztiere* 38, 73-78.
- Laible, G., Cole, S.A., Brophy, B., Wei, J., Leath, S., Jivanji, S., Littlejohn, M.D., Wells, D.N., 2021. Holstein Friesian dairy cattle edited for diluted coat color as a potential adaptation to climate change. *BMC Genomics* 22, 856.
- Lamichhane, J.R., Barzman, M., Booi, K., Boonekamp, P., Desneux, N., Huber, L., Kudsk, P., Langrell, S.R.H., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Messéan, A., 2015. Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 443-459.
- Lammers, B.P., VanKoot, J.W., Heinrichs, A.J., Graves, R.E., 1996. The effect of plywood and polyethylene calf hutches on heat stress. *Applied Engineering in Agriculture* 12, 741-745.
- Lane, D., Murdock, E., Genskow, K., Rumery Betz, C., Chatrchyan, A., 2019. Climate Change and Dairy in New York and Wisconsin: Risk Perceptions, Vulnerability, and Adaptation among Farmers and Advisors. *Sustainability* 11, 3599.
- LCV, 2020. Ruitzaai van maïs biedt voordelen. Boer&Tuinder, 23 april 2020.
- Lee, J.M., Clark, A.J., Roche, J.R., 2013. Climate-change effects and adaptation options for temperate pasture-based dairy farming systems: a review. *Grass and Forage Science* 68, 485-503.
- Leisova-Svobodova, L., Minarikova, V., Kucera, L., Pereyra, S.A., 2012. Structure of the *Cochliobolus sativus* population variability. *Plant Pathology* 61, 709-718.
- Madhusoodan, A.P., Sejian, V., Rashamol, V.P., Savitha, S.T., Bagath, M., Krishnan, G., Bhatta, R., 2019. Resilient capacity of cattle to environmental challenges – An updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 7, 104-118.
- Martin, J., Harner, J., Smith, J., 2012. Water system design considerations for modern dairies. Kansas State University Extension.
- McGrath, J.M., Betzelberger, A.M., Wang, S., Shook, E., Zhu, X.G., Long, S.P., Ainsworth, E.A., 2015. An analysis of ozone damage to historical maize and soybean yields in the United States. *Proc Natl Acad Sci U S A* 112, 14390-14395.
- Mills, G., Sharps, K., Simpson, D., Pleijel, H., Frei, M., Burkey, K., Emberson, L., Uddling, J., Broberg, M., Feng, Z., Kobayashi, K., Agrawal, M., 2018. Closing the global ozone yield gap: Quantification and cobenefits for multistress tolerance. *Global Change Biology* 24, 4869-4893.
- Mirkena, T., Duguma, G., Haile, A., Tibbo, M., Okeyo, A.M., Wurzing, M., Sölkner, J., 2010. Genetics of adaptation in domestic farm animals: A review. *Livestock Science* 132, 1-12.
- Moore, C.E., Kay, J.K., Collier, R.J., Vanbaale, M.J., Baumgard, L.H., 2005. Effect of supplemental conjugated linoleic acids on heat-stressed brown swiss and holstein cows. *J Dairy Sci* 88, 1732-1740.
- NAS, 2016. Nationale klimaatadaptatie strategie 2016 (NAS). Aanpassen met ambitie. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag.
- NAS, 2018. Uitvoeren met ambitie. Uitvoeringsprogramma 2018 – 2019. Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS). Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Den Haag.

- Nawara, S., Vanden Nest, T., Odeurs, W., Janssens, P., Tits, M., Elsen, A., 2021. Klimaatadaptieve praktijken voor het terugdringen van nutriëntenverliezen: een gerichte verkenning. . Studie uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België en ILVO Plant in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij. Eindrapport, 2 juni 2021. 395 p.
- Neal, M., Neal, J., Fulkerson, B., 2006. Choosing the Best Forage Species for a Dairy Farm: The Whole-Farm Approach. Risk and Sustainable Management Group. University of Queensland, Risk and Sustainable Management Group, Australia.
- Neil Adger, W., Arnell, N.W., Tompkins, E.L., 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15, 77-86.
- Nienaber, J.A., Hahn, G.L., 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology* 52, 149-157.
- Nussbaum, S., Geissmann, M., Fuhrer, J., 1995. Ozone exposure-response relationships for mixtures of perennial ryegrass and white clover depend on ozone exposure patterns. *Atmospheric Environment* 29, 989-995.
- Paas, W., 2013. Impacts of climate and socio-economic change on economic viability and land use of dairy farms in 'de Baakse Beek', the Netherlands. MSc thesis. Plant Production Systems, Wageningen University, Wageningen.
- Paas, W., Kanellopoulos, A., van de Ven, G., Reidsma, P., 2016. Integrated impact assessment of climate and socio-economic change on dairy farms in a watershed in the Netherlands. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 78, 35-45.
- PBL, 2015. Wereldwijde klimaateffecten: risico's en kansen voor Nederland. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Peña, G., Risco, C., Kunihiro, E., Thatcher, M.J., Pinedo, P.J., 2016. Effect of housing type on health and performance of preweaned dairy calves during summer in Florida1. *Journal of Dairy Science* 99, 1655-1662.
- Phelan, D.C., Parsons, D., Lissou, S.N., Holz, G.K., MacLeod, N.D., 2014. Beneficial impacts of climate change on pastoral and broadacre agriculture in cool-temperate Tasmania. *Crop and Pasture Science* 65, 194-205, 112.
- Pitt, D., Bruford, M.W., Barbato, M., Orozco-terWengel, P., Martínez, R., Sevane, N., 2019. Demography and rapid local adaptation shape Creole cattle genome diversity in the tropics. *Evolutionary Applications* 12, 105-122.
- Pleijel, H., Karlsson, G.P., Sild, E., Danielsson, H., Skärby, L., Selldén, G., 1996. Exposure of a grass-clover mixture to ozone in open-top chambers—effects on yield, quality and botanical composition. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 59, 55-62.
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V.L., Ngo, H.T., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A.J., 2016. Assessment report on pollinators, pollination and food production: : summary for policymakers. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- Pritchard, T., Coffey, M., Mrode, R., Wall, E., 2013. Understanding the genetics of survival in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96, 3296-3309.
- Project Klimaat en landbouw in Noord-Nederland, 2011. Boeren op weg naar klimaatbestendige productie. Resultaten van het project klimaat en landbouw in Noord-Nederland. Projectgroep Klimaat voor ruimte. edepot.wur.nl/221923
- Qi, R., Li, J., Lin, Z., Li, Z., Li, Y., Yang, X., Zhang, J., Zhao, B., 2016. Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes. *Applied Soil Ecology* 102, 36-45.
- Reed, K.F.M., 1996. Improving the adaptation of perennial ryegrass, tall fescue, phalaris, and cocksfoot for Australia. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 39, 457-464.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O., Leemans, R., 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy* 32, 91-102.
- Reidsma, P., Wolf, J., Kanellopoulos, A., Schaap, B.F., Mandryk, M., Verhagen, J., van Ittersum, M.K., 2015. Climate Change Impact and Adaptation Research Requires Farming Systems Analysis and Integrated Assessment: A Case Study in the Netherlands. *Procedia Environmental Sciences* 29, 286-287.
- Rhoads, M.L., Rhoads, R.P., VanBaale, M.J., Collier, R.J., Sanders, S.R., Weber, W.J., Crooker, B.A., Baumgard, L.H., 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J Dairy Sci* 92, 1986-1997.
- RIVM, 2011. De invloed van klimaatverandering op de grondwaterkwaliteit. RIVM, Bilthoven.
- RIVM, 2020. Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2016-2019) en trend (1992-2019) De Nitraatrapportage 2020 met de resultaten van de monitoring van de effecten van de EU Nitraatrichtlijn actieprogramma's RIVM-rapport 2020-0121.
- RIZA, 2014. Droogtestudie Nederland, Aard en omvang van de hydrologische aspecten van droogte in Nederland, resultaten fase 2a Informatiespoor Droogtestudie Nederland. RIZA, Dordrecht. Rapport 2004.31.
- Robson, M.J., 1973. The Effects of Temperature on the Growth of S.170 Tall Fescue (*Festuca arundinacea*). II. Independent Variation of Day and Night Temperatures. *Journal of Applied Ecology* 10, 93-105.
- Schaap, B.F., Reidsma, P., Agricola, H., Verhagen, A., 2014. Klimaatrisico's en -kansen voor de landbouw. Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International, Wageningen.
- Schüller, L.K., Burfeind, O., Heuwieser, W., 2014. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology* 81, 1050-1057.
- Schüller, L.K., Burfeind, O., Heuwieser, W., 2016. Effect of short- and long-term heat stress on the conception risk of dairy cows under natural service and artificial insemination breeding programs. *J Dairy Sci* 99, 2996-3002.
- Shoshani, E., Hetzroni, A., 2013. Optimal barn characteristics for high-yielding Holstein cows as derived by a new heat-stress model. *animal* 7, 176-182.
- Slack, C.R., Hatch, M.D., 1967. Comparative studies on the activity of carboxylases and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in tropical grasses. *The Biochemical Journal* 103 (3): 660-5.
- Staarink, H., Arts, M., Hoving, I., van Bakel, J., 2016. MONITORINGSRAPPORT LANDBOUW OP PEIL. Periode 2011-2015.
- Strandén, I., Kantanen, J., Russo, I.-R.M., Orozco-terWengel, P., Bruford, M.W., the Climgen, C., 2019. Genomic selection strategies for breeding adaptation and production in dairy cattle under climate change. *Heredity* 123, 307-317.

-
- Sudmeyer, R.A., Edward, A., Fazakerley, V., Simpkin, L., Foster, I., 2016. Climate change: impacts and adaptation for agriculture in Western Australia. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Bulletin 4870. .
- Super, I., Vilà-Guerau de Arellano, J., Krol, M.C., 2015. Cumulative ozone effect on canopy stomatal resistance and the impact on boundary layer dynamics and CO₂ assimilation at the diurnal scale: A case study for grassland in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 120, 1348-1365.
- Timmerman, M., Van Reenen, K., Holster, H., Evers, A., 2018. Verkennende studie naar hittestress bij melkvee tijdens weidegang in gematigde klimaatstreken. Wageningen Livestock Research. University of Wisconsin-Madison, 2018. https://animalwelfare.cals.wisc.edu/heat_stress/.
- Van Asseldonk, M., Stokkers, R., Jager, J., Van der Meer, R., 2021. Economische effecten van droogte in 2018 en 2019: een regionale analyse akkerbouw en melkveehouderij. Wageningen Economic Research. https://droogteportaal.nl/rapporten/Deel_rapport_economische_effecten_van_droogte.pdf.
- van Balen, D.J.M., Topper, C.G., van Geel, W.C.A., Jde Haan, J., van den Berg, W., de Haas, M.J.G., Bussink, D.W., 2016. Effecten bodem- en structuurverbeteraars. Onderzoek op klei- en zandgrond 2010-2015. Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). PPO publicatienummer 693.
- van Dijk, J., Sargison, N.D., Kenyon, F., Skuce, P.J., 2010. Climate change and infectious disease: helminthological challenges to farmed ruminants in temperate regions. *Animal* 4, 377-392.
- Vitali, A., Felici, A., Lees, A.M., Giacinti, G., Maresca, C., Bernabucci, U., Gaughan, J.B., Nardone, A., Lacetera, N., 2020. Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 103, 8378-8387.
- Voltaire, F., 2018. A unified framework of plant adaptive strategies to drought: Crossing scales and disciplines. *Global Change Biology* 24, 2929-2938.
- Voltaire, F., Lelievre, F., 2001. Drought survival in *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* under similar rooting conditions in tubes. *Plant and Soil* 229, 225-234. <https://doi.org/10.1023/A:1004835116453>.
- West, J.W., 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 86, 2131-2144.
- Wheelock, J.B., Rhoads, R.P., VanBaale, M.J., Sanders, S.R., Baumgard, L.H., 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows¹. *Journal of Dairy Science* 93, 644-655.
- Wolf, J., Mandryk, M., Kanellopoulos, A., Van Oort, P., Schaap, B., Reidsma, P., Van Ittersum, M., 2010. Methodologies for analyzing future farming systems and climate change impacts in Flevoland as applied within the AgriAdapt project. Wageningen University and Research centre, Wageningen.
- Wolfenson, D., Flamenbaum, I., Berman, A., 1988. Dry Period Heat Stress Relief Effects on Parturition, Progesterone, Calf Birth Weight, and Milk Production. *Journal of Dairy Science* 71, 809-818.
- Zhou, M., Aarnink, A.J.A., Huynh, T.T.T., van Dixhoorn, I.D.E., Groot Koerkamp, P.W.G., 2022. Effects of increasing air temperature on physiological and productive responses of dairy cows at different relative humidity and air velocity levels. *Journal of Dairy Science* 105, 1701-1716.

Bijlage 1 Stakeholder scores adaptatiemaatregelen

Categorie	Maatregel (initiële lijst)	Partners (n=3)			Veehouders (n=6)		
		Welke maatregelen zijn zinvol voor bedrijf in de Achterhoek?			Welke maatregelen doe je al, welke zijn wel of niet interessant voor inpassing op jouw bedrijf?		
		Ja	nee	Weet niet/ hangt er van af	Doe ik al	Interessant	Niet interessant
Waterbeheer	- Egaliseren of juist bol leggen van percelen	1	2		3	2	2
	- 'Boeren' stuwen of LOP-stuwen	3			3	4	1
	- Ondiepe nauwere drainage	1		1	1	1	3
	- Regelbare drainage	2		1		2	3
	- Dynamisch peilbeheer	3				3	3
	- Berekening (oppervlakkige besproeiing of druppelirrigatie)	3			2	4	1
	- Regelbare drainage met subirrigatie	1	1			3	1
	- Extra wateraanvoer	1	1			2	4
- 'Boeren'-berging (inundatie)	1	2			1	5	
Bodem	- Verbeteren bodemstructuur en bodemkwaliteit	3			5	3	
	- Voorkomen van bodemverdichting en structuurbederf	3			6	2	
	- Bodemchemie op peil houden	3			6	3	
	- Opheffen storende lagen	1	2		2	1	1
	- Verbeteren bodembiologie/bodemleven	3			4	3	
	- Opbouw en behoud van organische stof	3			4	4	
Gras en weidegang	- Bij lage grasgroei stoppen met beweiden	2		1	6	2	
	- Tijdig uitscharen	3			6	2	
	- Voldoende hoge stopplengte (>6cm) aanhouden bij oogsten	3			6	3	
	- Mesttoedieningsmethoden aanpassen	3					
	- Geen mestinjectie in droge grond	1	1		6	2	
	- Inzaai droogteresistente grassen en kruiden	3			5	2	
Andere voedergewassen	- Gewaskeuze	1		2	2	3	1
	- Voedergewassen met vroege lente groei	1		1	1	3	2
	- Teelt van gewassen die lang doorgroeien in het najaar	1			3	1	2
	- Vergroten aandeel gewassen met lage water behoefte per kg DS	1	1	1	3	1	1

Categorie	Maatregel (initiële lijst)	Partners (n=3)			Veehouders (n=6)		
		Welke maatregelen zijn zinvol voor bedrijf in de Achterhoek?			Welke maatregelen doe je al, welke zijn wel of niet interessant voor inpassing op jouw bedrijf?		
	- Aangepaste teelttechniek voedergewassen, lagere plantaantallen op droogtegevoelige percelen.	1		1	1	3	2
	- Meer gebruik van maïs	1	2		1		3
	- Vanggewassen en onderzaai	3			6	2	
	- Meer diversiteit (in tijd en ruimte) in bouwplan	2	1		2	5	
	- Meer aandacht voor adequate beheersing van ziekten, plagen en onkruiden,	1		1	2	4	
Ruwvoermanagement en rantsoen	- Minder directe instraling van zonlicht kuilen	3			2	3	1
	- Luchttoetreding in de kuil verminderen.	2			6	2	
	- Toepassen gronddek of andere verzwaring van de kuilafdekking	1			6	2	
	- Realiseren voersnelheid van > 2 m per week.	1	1		5	2	1
	- Handhaven van een vlak snijvlak van de kuil.	2			6	1	
	- Toepassen van broeiremmers (propionzuur) op het snijvlak	2			1	3	3
	- Voertijdstoppen aanpassen (vervroegen voerbeurten)	1	1		5	1	1
	- Vaker voeren		1		4	2	2
	- Vaker verse voermengsels bereiden		1		4	1	3
	- Toevoegen van broeiremmers (propionzuur) aan voermengsels.	1			2	1	2
	- Vergroten van de energiedichtheid (VEM/kg DS) van het rantsoen bij hittestress	3			5	1	
	- Toevoegen van vetten aan het rantsoen.			1	1	3	2
	- Toevoegen van pens pH-buffers (natriumbicarbonaat) aan het rantsoen, i.c.m. groter aandeel krachtvoer	2			6	1	
	- Verbeteren waterverstrekking	2	1		5	1	
Hittestress: Diermanagement en huisvesting	- Houtwallen of bomen handhaven of aanplanten	1	2		3	1	2
	- Andere schaduw-constructies in de wei	1	2		1	1	4
	- Opstallen bij hitte en/of droogte	3			6	1	
	- Grote dakoversteek	2			3		1
	- Hoger dak	1	1		4	1	
	- Dakisolatie	2			3	2	1
	- Innovatieve daksystemen	1	1	1			
	- Schaduw voor de stal	1		1			
	- Besproeien van het dak	1		1		2	3
	- Lucht bevochtigen (vernevelaar)	2	1			1	3
	- Verkoelend ligbed of vloer	1	1			2	2
- Mechanische ventilatie en verhoging van de luchtsnelheid	3			5	1		

Categorie	Maatregel (initiële lijst)	Partners (n=3)			Veehouders (n=6)		
		Welke maatregelen zijn zinvol voor bedrijf in de Achterhoek?			Welke maatregelen doe je al, welke zijn wel of niet interessant voor inpassing op jouw bedrijf?		
	- Specifieke ventilatie	1		1	3	3	
	- Voorgekoelde lucht over de koeien blazen			1		3	1
	- Bij bestaande bouw, afbreken van gevels			1		1	3
	- Bij nieuwbouw, zeer groot stalvolume			2	1	1	1
	- Koeien nat maken in combinatie met verhogen van ventilatie		2	1		3	1
	- Uitloop in water aanbieden	1	2		1	2	1
	- Veel en vers water aanbieden	3			4	2	
	- Supplementen voeren	2			2	4	
	- Stal bezetting extra verlagen	1	1	1	2	3	3
	- Activiteiten van koeien plannen op koelere momenten van de dag (bijv. melkroutines)	1	1		5	2	
	- Afkalfmanagement, piek productie buiten zomer plannen	2	1		1	1	3
	- Siësta beweiding	3			1	4	
	- 's nachts beweiden	3			2	4	
	- Alleen laag productieve koeien weiden in warme perioden	1	1			3	3
	- Fokken op koeien die beter bestand zijn tegen hittestress	1				3	2
	- Melkproductie bewust verlagen	1	2		1	2	2
Infectedruk	- Zonlicht en droogte	1			2	1	1
	- Ligbedden: gebruik kalk/zuur, anorganisch bedding materiaal, vaker verschonen	N/A			3	2	
	- Management vliegen, muggen, knutten, teken en ongediertebestrijding	N/A			1	3	
	- Scheren	N/A			2	3	
	- Mest frequenter/schoner verwijderen	N/A			3	1	
Overig	- Risico's verzekeren		1				4
	- Voldoende capaciteit / mestopslag vergroten	1			3		1

Bijlage 2 Aanvullende adaptatiemaatregelen geïnventariseerd in Kennisgroep KLIMEA

Categorie	Maatregel
Gras en weidegang	<ul style="list-style-type: none"> - Cambridgerol voor goede zaaibedbereiding (goede compactie, betere aansluiting, en betere kieming na het zaaien) - Zomerstal voeren
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> - toevoegen kleimineralen (ook t.b.v. binding organische stof) - werken met additieven zoals steen of basaltmeel, zeezoutextracten - toevoegen van lokale groenstromen van terreinbeheerders en die bewerken alvorens toedienen met effectieve methodes op het bedrijf zoals wormencompostering, bokashi, etc. - op termijn: benutten/herstellen van de mineralen en organische stof kringloop door het weer toepassen van sediment en zuiveringsslib (mits voldoende schoon)
Teeltmaatregelen en gewaskeuze	<ul style="list-style-type: none"> - Afhankelijk van ruwvoorraad, kiezen voor MKS/CCM i.p.v. maïs en gewasresten achterlaten t.b.v. organische stof opbouw. - vruchtwisseling 40-30-30 (let wel op vergroeningspremie)
Ruwvoermanagement en rantsoen	<ul style="list-style-type: none"> - Hooidrooginstallatie (gras kunstmatig drogen in de schuur waardoor er minder oogst- en VEM verliezen zijn dan bij hooien op land) - Voerschema voor de zomermaanden
Huisvesting	<ul style="list-style-type: none"> - Innovatief stalsysteem voor klimaatadaptatie
Mest en bemesting	<ul style="list-style-type: none"> - Voldoende capaciteit mestopslag en voeropslag - Mest scheiden (bv. dikke fractie in februari, dunne fractie bewaren voor de zomer) - Water toevoegen aan de mest - Gedeelde kunstmestgiften
Bedrijfsniveau / systeemverandering	<ul style="list-style-type: none"> - Omschakelen naar biologisch - Combinatie met akkerbouw (gemengd bedrijf) of samenwerking met akkerbouwer of andere melkveehouder (bv. zonder derogatie, t.b.v. maïsteelt indien nodig voor snijmaïs, anders MKS) - Optimaliseren saldo - In gesprek gaan met Waterschap i.v.m. functie van de bodem als buffer; waar liggen gemeenschappelijke belangen?
Tools/sensoren	<ul style="list-style-type: none"> - Goede voorspellers van droge en hete periodes, om preventief te acteren - Beregeningsplanner (bv. beregeningssignaal LTO) - Vochtsensoren bodem

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



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten 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.

