

# Notat om klimaforandringerne betydning for dansk landbrug

---

Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Jørgen Eivind Olesen<sup>1</sup>, Lars Juhl Munkholm<sup>1</sup>, Per Kudsk<sup>1</sup>, Per L. Gregersen<sup>1</sup>, Anne Grete Kongsted<sup>1</sup>, Christian Friis Børsting<sup>2</sup>, Henrik Callesen<sup>2</sup>, Jan Tind Sørensen<sup>2</sup>, Britt Henriksen<sup>2</sup>, Tofuko Woyengo<sup>2</sup>, Trine Michelle Villumsen<sup>3</sup>, Morten Dam Rasmussen<sup>4</sup>, Mathias Neumann Andersen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut for Agroøkologi

<sup>2</sup>Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab

<sup>3</sup>Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning

<sup>4</sup>Institut for Bio- og Kemiteknologi

# Datablad

---

Titel:	Notat om klimaforandringernes betydning for dansk landbrug
Forfatter(e):	Jørgen Eivind Olesen, Lars Juhl Munkholm, Per Kudsk, Per L. Gregersen, Anne Grete Kongsted og Mathias Neumann Andersen fra Institut for Agroøkologi v. AU. Christian Friis Børsting, Henrik Callesen, Jan Tind Sørensen, Britt Henriksen og Tofuko Woyengo fra Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab v. AU. Trine Michelle Villumsen fra Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning v. AU og Morten Dam Rasmussen fra Institut for Bio- og Kemiteknologi v. AU.
Fagfællebedømmelse:	Adjunkt Johannes Wilhelmus Maria Pullens, Institut for Agroøkologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Chefkonsulent Lene Hegelund, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen
Dato for bestilling/levering:	26.08.2022 / 23.09.2022
Journalnummer:	2022-0431984
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 2.26 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025".
Ekstern kommentering:	Nej.
Eksterne bidrag:	Nej.
Kommentarer til bestilling:	Notatet er baseret på uddrag af en vidensyntese om klimatilpasning og landbrug, der er under udarbejdelse.
Kommentarer til besvarelse:	<p>Notatet præsenterer resultater, som ved rapportens udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.</p> <p>Notatet er første gang leveret 05.09.2022. I nærværende revision er forfatterlisten opdateret.</p>
Citeres som:	Olsen JE, Munkholm LJ, Kudsk P, Gregersen PL, Kongsted AG, Børsting CF, Callesen H, Sørensen JT, Henriksen B, Wouengo T, Villumsen TM, Rasmussen MD, Andersen MA. 2022. Notat om klimaforandringernes betydning for dansk landbrug. 35 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: dato.05.09.2022.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>

# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Baggrund.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Hvilke klimaforandringer ses og forventes i Danmark.....</b>	<b>4</b>
2.1	Observerede ændringer i klimaet i Danmark.....	4
2.2	Forventede ændringer i klima frem til 2050.....	5
<b>3</b>	<b>Nuværende påvirkninger og tilpasninger .....</b>	<b>6</b>
3.1	Planteproduktion.....	6
3.1.1	Jordkvalitet.....	6
3.1.2	Kulturteknik.....	7
3.1.3	Ukrudt, sygdomme og skadedyr.....	8
3.1.4	Afgrøder og udbytter .....	10
3.2	Husdyrproduktion.....	11
3.2.1	Dyrevelfærd og -sundhed .....	11
3.2.2	Produktion.....	13
3.2.3	Foderforsyning og -behov .....	15
3.3	Miljø- og klimapåvirkning.....	16
3.3.1	Næringsstofudledninger.....	16
3.3.2	Udledninger af klimagasser .....	16
<b>4</b>	<b>Forventede tilpasninger frem mod 2050 .....</b>	<b>16</b>
4.1	Planteavl .....	17
4.1.1	Dyrkningssystemer.....	17
4.1.2	Nye arter og sorter.....	17
4.1.3	Dyrkning og gødskning.....	18
4.1.4	Jordbearbejdning.....	18
4.1.5	Dræning og vanding.....	18
4.1.6	Plantebeskyttelse .....	19
4.1.7	Forædling.....	19
4.2	Husdyr.....	20
4.2.1	Staldsystemer .....	20
4.2.2	Dyr på udearealer .....	22
4.2.3	Fodring .....	24
4.2.4	Avl .....	25
4.3	Beskyttelse af vandmiljøet.....	25
4.4	Samspil med europæisk og global klimatilpasning.....	26
<b>5</b>	<b>Referencer.....</b>	<b>26</b>

# 1 Baggrund

Notatet er et bidrag til Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri's rapportering til FN om klimatilpasning og fokuserer på klimaforandringerne betydning for dansk landbrug. Notatet er baseret på uddrag af en Vidensyntese om klimatilpasning og landbrug, der er under udarbejdelse, som en del af AUs myndighedsbetjening. De enkelte delafsnit som dette bygger på er endnu ikke fagfællebedømt. Der tages således forbehold for at beskrivelser og konklusioner kan ændres i videnssyntesen.

## 2 Hvilke klimaforandringer ses og forventes i Danmark

Klimaet er defineret som det forventede vejr over en årrække, hvor standard for klimanormaler er gennemsnittet over en 30-årig periode. De nuværende menneskeskabte klimaændringer, der medfører gradvise ændringer i klimaet (de forventede vejrforhold) udfordrer dog denne betragtning. I stedet må klimaet ses som en størrelse, der konstant er under forandring, både med hensyn til gennemsnit og variabilitet.

### 2.1 Observerede ændringer i klimaet i Danmark

Over de seneste 50 år er den globale middeltemperatur steget med 0,8 °C (IPCC, 2021), og temperaturstigningerne i Danmark har på det seneste endda været endnu større, svarende til ca. 1,8 °C over perioden 1980 til 2020. Når temperaturen i Danmark er steget mere end den globale middeltemperatur, så hænger det især sammen med at temperaturen over land på verdensplan er steget 1,4 til 1,7 gange mere end over hav (IPCC, 2021).

Forskellen i middeltemperatur mellem normalperioden (30 års gennemsnit) 1961-1990 og 1991-2020 er 1,0°C med meget lille forskel mellem vinter- og sommerhalvår. Siden 1980 er temperaturen steget ca. 0,5°C per årti og stigningen er konsistent over perioden. Variationen i temperatur fra år til år er også øget mellem de to normalperioder. I gennemsnit er spredningen i temperatur steget med 0,1°C, men det dækker over en reduktion i vinterperioden og en stigning i sommerperioden. Den lavere variabilitet om vinteren er knyttet til ringere snedække og dermed færre situationer med meget lave temperaturer om vinteren. Der er også en øget variation mellem år knyttet til øgede årsforskelle i forekomst af varme og tørre kontra kølige og våde perioder.

Vækstsæsonens længde opgøres ofte som den del af året, hvor middeltemperaturen overstiger 5°C. Mellem de to nævnte normalperioder er vækstsæsonens længde i Danmark øget med 18 dage, heraf 11 dage i foråret og 7 dage i efteråret. Dette har været medvirkende til tidligere såning og generelt tidligere udvikling af afgrøderne (Olesen et al., 2017).

Nedbør varierer geografiske betydeligt i Danmark med den største nedbør i det centrale Jylland og den mindste i Storebæltsregionen. Der er også betydelig årsvariation. Den årlige nedbør er i gennemsnit over de seneste årtier steget med ca. 15 mm per årti. Stigningen har især været koncentreret i januar til februar og august til oktober. Der er ikke nogen væsentlig ændring over tid i variationen i måneds-nedbør.

Antallet af soltimer er steget over de seneste årtier, og stigningen gælder hele året. På årsbasis er antallet af soltimer steget med 113 timer mellem de to normalperioder. Dette er i overensstemmelse med en generel stigning i indstrålingen over Europa (Sanchez-Lorenzo et al., 2017), som til dels kan tillægges en lavere forurening af atmosfæren med aerosoler.

## 2.2 Forventede ændringer i klima frem til 2050

De forventede klimacændringer er her baseret på det danske klimaatlas (Thejll et al., 2021). Der er taget udgangspunkt i et medium scenarie for udledninger af klimagasser (RCP4.5). Der er dog frem til 2050 kun små forskelle mellem de forskellige udledningsscenarier, og RCP4.5 udgør derfor et godt estimat for de forventede klimacændringer frem til 2050. Der er betydelig variation mellem forskellige klimamodeller med hensyn til beregnede klimacændringer (Madsen et al., 2012).

Fremskrivningerne af temperatur viser en stigning på 0,34°C per årti (tabel 1), hvilket kun er omkring halvdelen af den observerede stigning over de seneste 40 år. Der er en større stigning i forventede laveste årlige temperatur end i den højeste temperatur, hvilket er i overensstemmelse med den større observerede stigning i vintertemperatur sammenlignet med resten af året. Dette afspejler sig også i en reduktion i det forventede årlige temperaturinterval. Derimod forventes ikke ændringer i døgnvariationen i temperatur. Vækstsæsonens længde forventes at stige med 6,5 dage per årti, og der forventes mindre stigninger i antallet af varmebølgedage og hedebølgedage (tabel 1). Derimod forventes antallet af frostdøgn at falde betydeligt. Hedebølgedage er dage med maksimumtemperatur over 28°C over mindst 3 dage, og varmebølgedage er dage med maksimumtemperatur over 25°C over mindst 3 dage. Frostdøgn er døgn med minimumtemperatur under 0°C. Antallet af frostdøgn forventes at falde med omkring 23 døgn frem mod 2050.

Nedbøren forventes at stige frem mod 2050 (tabel 1). Der er dog meget store variationer mellem de forskellige modeller i de forventede ændringer i nedbør. Medianværdien angiver en stigning på ca. 10 mm per årti frem mod 2030 og en yderligere stigning på 4 mm per årti frem mod 2060. Dette er mindre end den hidtige observerede nedbørstigning på ca. 15 mm per årti. Der forventes en større stigning i maksimal døgnnedbør end i den gennemsnitlige nedbørmængde, og derfor en stigning i nedbørintensitet. Der forventes dog ingen ændringer i antallet af tørre dage (dage med  $\leq 0.1$  m nedbør). Der forventes heller ikke væsentlige ændringer i solindstråling, og den forventede mindre stigning i potentiel fordampning skyldes derfor en stigende temperatur.

**Tabel 1:** Forventede ændringer (median og 10/90 % percentiler) i klimaforhold på årsniveau i Danmark for 2011-2040 og 2041-2070 sammenlignet med 1981-2010 under RCP 4.5 i henhold til det danske klimaatlas (Thejll et al., 2021).

Klimavariabel	Reference	2011-2040	2041-2070
Middeltemperatur	8,45 °C	0,73 °C (0,15; 1,48 °C)	1,45 °C (0,85; 2,18 °C)
Højeste temperatur	29,41 °C	0,38 °C (-0,70; 1,48 °C)	1,04 °C (0,12; 2,30 °C)
Laveste temperatur	-11,06 °C	1,52 °C (0,04; 3,55 °C)	2,98 °C (1,28; 4,79 °C)
Årets temperaturinterval	29,16 °C	-0,74 °C (-2,25; 0,64 °C)	-1,31 °C (-2,86; 0,04 °C)
Døgnet's temperaturinterval	7,17 °C	-0,09 °C (-0,26; 0,08 °C)	-0,13 °C (-0,24; 0,09 °C)

Hedebølgedage	1,85	0,50 (-0,73; 2,53)	1,62 (0,12; 3,38)
Varmebølgedage	8,84	2,39 (-2,11; 7,31)	6,33 (2,28; 11,70)
Frostdøgn	78,55	-12,33 (-28,75; -3,64)	-22,73 (-37,58; -12,46)
Vækstsæson	249,26	19,63 (3,27; 36,63)	39,45 (25,81; 59,16)
Nedbør	741 mm	4,22 % (-1,88 %; 11,85 %)	5,75 % (-0,31 %; 13,40 %)
Maksimal døgnedbør	32,7 mm	6,28 % (-5,16 %; 18,71 %)	9,71 % (-1,02 %; 22,85 %)
Antal tørre dage	236,8	-0,57 % (-3,83 %; 1,95 %)	0,27 % (-3,27 %; 2,50 %)
Solindstråling	117,1 W/m <sup>2</sup>	-0,86 % (-2,69; 1,31 %)	-1,43 % (-3,26 %; 0,74)
Potentiel fordampning	598,6 mm	0,58 % (-2,15 %; 4,95 %)	1,81 % (-1,19 %; 5,92 %)

### 3 Nuværende påvirkninger og tilpasninger

Der er rapporteret negative effekter af klimacændringer på afgrødeproduktion i de fleste afgøder på verdensplan, herunder Europæiske lande (Peltonen-Sainio et al., 2010), og dette omhandler også faldende udbytter og stigende variabilitet (Olesen et al., 2011). Disse effekter på afgrøder påvirker også husdyrproduktionen gennem adgang til og prisen på foder. Klimacændringer kan dog også give fordele for landbrugsproduktionen, og i Danmark vil dette især ske gennem en længere vækstsæson, som giver mulighed for øgede udbytter i varmekrævende afgrøder som fx majs og vin (Zhao et al., 2022).

#### 3.1 Planteproduktion

Klimaets betydning for vilkårene for planteproduktion påvirkes især gennem vækstsæsonens længde samt temperatur og nedbør i løbet af vækstsæsonen. Forskellige afgrøder reagerer forskelligt på disse betingelser. Samtidig påvirkes afgrødernes vækstbetingelser også af samspillet til vandforsyning, jordkvalitet og plantebeskyttelse.

##### 3.1.1 Jordkvalitet

I afsnittet fokuseres på emnerne "kulstof i jord", "jordpakning" og "erosion", som antages at være de væsentligste udfordringer i forhold til jordkvalitet i Danmark (Schjøning et al., 2009). Klimacændringernes betydning for næringsstoffer og pH er ikke behandlet, men det betyder ikke at effekterne antages at være ubetydelige.

###### 3.1.1.1 Kulstof i jord

Dyrkningsjordens kulstofindhold har generelt set været faldende på de lerede jorde og ligget på et stabilt niveau for de sandede jorde over de seneste 4 årtier (Heidmann et al., 2001; Taghizadeh-Toosi et al. 2014). Det relateres til ændringer i dyrkningspraksis i form af mindre andel af græs i sædskiftet, fjernelse af halm, mindre husdyrgødning på de østdanske lerede jorde. Observerede klimaforandringer indenfor samme 40-årige periode (1,8 grader øget middeltemperatur og 60 mm øget nedbør) har med stor sandsynlighed også påvirket kulstofindholdet i den dyrkede jord, men ændringerne er ikke blevet relateret direkte til disse. Klimaforandringerne påvirker i betydelig grad både kulstofftilførsel og -fraførsel. Øget temperatur og

udvidet vækstsæson vil alt andet lige give bedre betingelser for plantevæksten af hoved- og især efterafgrøde og dermed øge kulstoftilførslen til jorden. Dette vil blive modvirket af øget kulstofomsætning og dermed kulstoffraførsel. Netto-effekten er usikker. Wiesmeier et al. (2016) simulerede, at klimaforandringer ville resultere i et tab af kulstof i perioden 2000-2095 for tyske jorde fra Bayernjorde på 11-16% ved uændret kulstoftilførsel og 3-8% ved 20% øget kulstoftilførsel. Hvis dette overføres til danske forhold, forventes størst effekt for jordkvaliteten på de lerede jorde, som allerede har et lavt og faldende kulstofindhold. Her forventes i så fald, at kulstofftab forårsager øgede problemer med dårlig strukturstabilitet og evne til at smuldre og danne et godt såbed (Jensen et al., 2019;2020; Obour et al., 2019; Qi et al., 2022). Dårligere strukturstabilitet øger risikoen for erosion og tilslemning – som har afledte problemer for både planteproduktion og miljø. Endvidere forventes faldende vandholdende evne og reduceret vandinfiltrationsevne.

### 3.1.1.2 Jordpakning

Jordpakning – primært forårsaget af kørsel med tunge maskiner - er betydeligt problem under danske forhold på grund af pakningsfølsomme jorde, vådt klima og brug af tunge maskiner. Den observerede og forventede øgede vinternedbør vil alt andet lige øge risikoen for jordpakning og effekten af kørsel med tunge maskiner på våd og dermed pakningsfølsom jord. Det vil give anledning til pakning i både over- og underjord, hvoraf særligt sidstnævnte er alvorligt, da pakningsskader i underjorden er meget vanskelige at udbedre. Jordpakning giver anledning til øgede problemer med afdræning, tab af lattergas, hæmmet rodvækst og planteudvikling samt erosion. En dårligere afdræning vil mindske tidsvinduet for optimal planteetablering, som i værste fald kan betyde mislykket etablering. Der er risiko for at der opstår en ond spiral kørsel på våd jord om vinteren forringer afdræningsevne og dermed forstærker effekten af klimaforandringer i forhold til afdræning og afledte problemer i forhold til planteproduktion og miljø.

### 3.1.1.3 Erosion

Klimaforandringerne vil øge risikoen for vanderosion under danske forhold som følge af øget nedbør og ikke mindst øget forekomst af intensive regnhændelser, dvs. erosiviteten øges (Schjønning et al., 2009). Samtidig forventes jordens sårbarhed over for både vind- og vanderosion - erodibiliteten - også at øges som følge af tab af kulstof og ikke mindst øget forekomst af jordpakning som beskrevet oven for. Lav erodibilitet er kendetegnet for jord, hvor overfladen er dækket af levende planter eller planterester, har et passende højt kulstofindhold og er fri for pakkede områder (hjulspor, foragre mm) eller jordlag med lav vandledningsevne, som opsummeret af Schjønning et al. (2009). Den klimabetingende øgede risiko for jordpakning i vinterhalvåret vil alt andet lige øget behovet for intensiv jordbearbejdning, som alt andet lige øger risikoen for erosion. Det gælder særligt, hvor der anvendes tunge maskiner til høst om efteråret eller udkørsel af husdyrgødning om foråret.

## 3.1.2 Kulturteknik

Både dræning og vanding som kulturtekniske tiltag er relevante i forbindelse med de øgede nedbørsmængder i vinterhalvåret og mulige længere tørkeperioder om sommeren. Vurderingen af hvor og hvornår, der er et eventuelt øget behov hæmmes af mangelfuld statistik om den nuværende udbredelse og udvikling.

### 3.1.2.1 Dræning

På grund af de stigende nedbørsmængder forventes fokus og stigende behov for dræning af dyrkede arealer. Dræning er en forudsætning for rettidig såning i forårs- og efterårsmånederne og for at mindske eller undgå jordpakning (se ovenfor). Dræning bidrager derfor til at opnå højt udbytte, der ofte er betinget af så tidlig såning som muligt, og af at der ikke opstår perioder, hvor planternes rodsystem påvirkes negativt af for lavt iltindhold i jorden. Lavt iltindhold på grund af vandmætning stimulerer endvidere dannelsen af lattergas ( $N_2O$ ), som er den største kilde til drivhusgasudledning fra planteproduktionen (Pulido-Moncada et al., 2022).

### 3.1.2.2 Vanding

Omkring 20% af det danske landbrugsareal vandes på ejendomme hovedsageligt på sandjord, der har tilladelse til indvinding af vand til markvanding. Markvanding er en væsentlig faktor, der stabiliserer udbyttet på disse ejendomme og dermed bidrager med resiliens mod klimacændringer specielt længere tørkeperioder. Klimacændringerne har forskellige og til dels modsat rettede effekter på vandingsbehovet. Den stigende  $CO_2$  koncentration i atmosfæren vil mindske fordampningen, medens den stigende nedbørsmængde på årsbasis som tidligere nævnt er koncentreret i vinter- og efterårsmånederne og derfor ikke nødvendigvis mindsker vandingsbehovet. Længere perioder med sommertørke og højere sommertemperaturer trækker i den anden retning og vil øge behovet for markvanding. Dette modvirkes dog igen af tidligere såning og tidligere afmodning af afgrøderne. Ten Damme og Andersen (2018) analyserede vandingsbehovet i forskellige afgrøder, og landsdele i perioden 1990-2015 og fandt generelt højere vandingsbehov end i ældre undersøgelser. På grund af ændringer i målemetoder med hensyn til fordampning og nedbør og brug af nye vandbalancemodeller, kan det øgede vandingsbehov dog ikke med sikkerhed tilskrives klimacændringerne. Et stigende behov for vandindvinding til markvanding, herunder også eventuel udvidelse af det vandede areal, kan have konsekvenser for vandføringen i vandløb. Dette kan medføre et behov for at justere tilladelser til vandindvinding, men der er behov for en grundigere analyse og kortlægning af problemets omfang herunder også om den stigende nedbør øger den tilgængelige vandressource i sommermånederne.

## 3.1.3 Ukrudt, sygdomme og skadedyr

### 3.1.3.1 Ukrudt

Ukrudtsplanters vækst og konkurrenceevne vil især påvirkes af temperatur, jordfugtighed og luftens  $CO_2$  indhold. En række forsøg under kontrollerede/semi-kontrollerede forhold har vist, at planter med C3 fotosyntese (90 % af alle plantearter) vil have større fordel af stigende  $CO_2$  koncentrationer end C4 planter. Hovedparten af ukrudtsarterne og de dyrkede afgrøder i Danmark er C3 planter med majs som eneste undtagelse blandt de mest dyrkede afgrøder, og derfor vil både ukrudt og afgrøde, med undtagelse af majs, profitere af et stigende  $CO_2$  indhold i atmosfæren. Om dette også er tilfældet, når stigende  $CO_2$  koncentrationer forekommer samtidig med andre klimacændringer såsom tørke vides ikke, ligesom der i de hidtidige undersøgelser ikke er taget højde for, at en afgrøde ofte konkurrerer med 5 til 10 forskellige ukrudtsarter.

Ukrudtsfloraens sammensætning er primært et resultat af afgrødefølgen og jordtypen. Klimacændringer vil imidlertid kunne bidrage til ændringer i ukrudtsfloraens sammensætning. F.eks. er der i de senere år set en stigende forekomst af hanespore og grøn skærmaks i forårssåede rækkeafgrøder som f.eks. majs. Disse arter er varmekrævende, og deres større udbredelse kan tilskrives højere forårs- og sommertemperaturer.



Forekomst af disse ukrudtsarter udløser ofte behov for supplerende bekæmpelse. Det forventes, at også andre ukrudtsarter, som ikke er et problem i Danmark i dag, vil kunne etablere sig i fremtiden og øge behovet for ukrudtsbekæmpelse.

En anden effekt af klimacændringerne er, at ukrudtsarternes følsomhed overfor herbiciderne reduceres. Dette kan tilskrives forskellige forhold. Eksempelvis er det med agertidsel vist, at et forøget CO<sub>2</sub> indhold i atmosfæren fremmede rodvæksten mere end bladvæksten. Som følge heraf øges forholdet imellem biomassen i de under- og overjordiske plantedele, hvilket reducerede effekten af herbicider til bekæmpelse af flerårigt ukrudt i forhold til planter dyrket ved et normalt CO<sub>2</sub> niveau, pga. en mindre afsætning af herbicid pr. g rodbiomasse.

### 3.1.3.2 Sygdomme

De største tab som følge af svampesygdomme er i korn, kartofler og grønsager. Klimaet er en af de parametre, som har størst indflydelse på angrebsgraden sammen med planternes sygdomsresistens. Anvendelsen af fungicider sker hovedsageligt i korn og kartofler.

Nøjagtig hvordan plantesygdomme vil opføre sig under ændrede klimaforhold kan ikke forudsiges med sikkerhed, fordi sammenhængene er meget komplekse og et godt datagrundlag mangler. Generelt vurderes det, at mildere vintre vil øge risikoen for, at flere sygdomme vil overvintre. Det er således kendt, at gulrust i visse vintre helt kan forsvinde på grund af kraftig frost. Chancerne for en sådan dæmpning af smittepotentiale må forventes at blive mindre, når vintrene bliver mildere. Mildere vintre betyder også, at flere svampe vil gennemløbe flere generationer i løbet af vinterhalvåret og dermed oparbejde et større smittepotentiale i den tidlige vækstsæson, hvor afgrøderne generelt er mest følsomme.

Såfremt forsommeren bliver mere nedbørfattige, som det har været tilfældet i de seneste år, vil det muligvis kunne mindske angreb af fugtelskende svampe som hvedegråplet, skoldplet og bygbladplet. Længere perioder med bladflugt er afgørende for, at disse sygdomme kan spredes og opformeres.

Kartoffelskimmel overlever i Danmark enten ved smitstof i knolde i jorden eller ved egentlig jordsmitte i form af oosporer. Især oosporesmitte er i de senere år set mere hyppigt end tidligere. Mildere vintre og varmere forsomre kan øge betydningen af knold- og jordsmitte og føre til tidligere angreb. Varmere somre kan medvirke til kraftigere epidemier af kartoffelskimmel og kan favorisere nye sygdomme som kartoffelbladplet, som trives bedst i varme somre. I sukkerroer vil en temperaturstigning kunne få betydning for udbredelsen af *Cercospora* bladplet og *Ramularia*. Disse er begge kendt for at trives bedst ved højere temperaturer og er derfor almindeligt forekommende i varmere områder af Europa.

Specifikt forventes det, at sygdomme som aksfusarium og brunrust vil kunne få øget betydning, hvis temperaturen stiger i juni og juli. Aksfusarium består af et kompleks af fusariumsvampe, hvor især *F. graminearum* er kendt for at fremmes af højere temperaturer. Denne art er specielt uønsket på grund af dens betydelige mycotoxinproduktion. Brunrust (og undertiden sortrust) er ligeledes kendt som et betydeligt problem i den varmere del af Europa, og ses normalt kun hos os i år med meget varme somre. Hvis temperaturen stiger om sommeren vil angrebene af disse sygdomme øges.

### 3.1.3.3 Skadedyr

Bladlus er de mest betydende skadedyr i landbrugsafgrøderne. Et fingerpeg om hvordan klimacændringer vil påvirke forekomsten af bladlus kan man få ved at sammenligne gennemsnitstemperaturen for maj og

juni i det nordlige og sydlige Danmark. Gennemsnitstemperaturen i Midt- og Nordjylland ligger i størrelsesordenen 0,5 °C lavere end i Sønderjylland, på Sjælland, Lolland og Falster. Det er i de sidstnævnte områder, vi ser de største angreb af bladlus, typisk i størrelsesordenen 50% kraftigere angreb.

I Danmark lever bladlusene såkaldt holocyklisk, hvilket vil sige, at de overvintrer som æg. Lidt længere nede i Europa og det sydlige England har bladlusene i mange tilfælde sprunget ægstadiet over og overvintrer i stedet som voksne (anholocyklisk levevis). Det kan lade sig gøre, fordi klimaet her er varmere end i Danmark. En overvintring som voksne betyder større aktivitet om efteråret og samtidig også en hurtigere og større opformering om foråret. En større aktivitet om efteråret er set i de senere år, hvilket har resulteret i en øget forekomst af den bladlusoverførte virussygdom havrerødsot. En fremtidig forøgelse af temperaturen vil øge bekæmpelsesbehovet i korn markant.

I dag skyldes skadedyrsbekæmpelse i vinterraps primært glimmerbøsser, men i stigende grad også jordlopper. En forøgelse af temperaturen vil med stor sandsynlighed øge problemet med begge skadedyr, som vi ser det i Midt- og Sydeuropa. Det er endvidere sandsynligt, at det øgede insekticidforbrug vil give endnu større problemer med insekticidresistente glimmerbøsser, end vi ser det i Danmark i dag.

Majs er en afgrøde, hvor problemerne med skadedyr er minimale. Klimaændringerne kan imidlertid ændre denne situation. Det er i denne sammenhæng især fokus på majsrodbille og majshalvmøl. Majsrodbillen er et betydende skadedyr i det sydlige Europa, men med en mindre temperaturstigning vil den kunne gennemføre sin livscyklus i Danmark. Majshalvmøl er etableret i Danmark men forårsager endnu ikke store skader.

#### 3.1.3.4 Konklusion

Samlet set vurderes klimaændringerne at resultere i stigende problemer med skadegørere og et større behov for bekæmpelse. Klimaændringer vurderes at påvirke behovet for bekæmpelse af sygdomme og skadedyr mere end for ukrudt.

#### 3.1.4 Afgrøder og udbytter

Dansk landbrug er domineret af korndyrkning med både vårsæd og vintersæd, især vårbyg og vinterhvede. De højeste udbytter opnås i vintersæd, som har en længere vækstsæson og som på grund af større roddybde også er mindre tørkefølsom end vårsæd (Webber et al., 2018). Denne effekt var særlig tydelig i tørkeåret 2018, hvor effekten blev forstærket af et meget vådt efterår i 2017, der umuliggjorde såning af vintersæd på store arealer. Der var derfor i 2018 et ekstra stort areal med vårsæd, og dermed et større areal med tørkefølsomme afgrøder. Miljøreguleringen af kvælstofudledning har medført et krav om efterafgrøder på et stadigt stigende areal, hvilket i sig selv kræver dyrkning af vårsæd, og på nogle arealer potentielt øger tørkefølsomheden især over for forsommertørke.

Udbytter i både vårbyg og vinterhvede har været jævnt stigende over de seneste 30 år med omkring 0,6% årligt. Der generelt har kun været mindre årlige udsving i udbytterne på landsplan med tørkeåret 2018 som undtagelse, hvor udbyttet i vinterhvede og vårbyg var henholdsvis 14 og 22% lavere end i de omliggende år.

Kristensen et al. (2011) benyttede data fra forsøg i vinterhvede hos landmænd til at undersøge hvilke vejrforhold, der påvirker udbyttet i vinterhvede. Udbyttet var især negativt påvirket af høje sommertemperaturer, hvorimod høj indstråling (soltimer) i forår og sommer øger udbyttet. Udbyttet var samlet kun i mindre omfang påvirket af nedbør, da der er både positive og negative effekter knyttet til nedbør afhængig af tidspunkt og mængde.

Den længere vækstsæson har sammen med højere temperaturer givet bedre betingelser for varmekrævende afgrøder. Dette har dog stort set kun påvirket omfanget af dyrkning af majs og vin i Danmark. Danmark blev officielt anerkendt som vinproducerende land af EU i 2000, men på trods af et stigende antal vinavlere er arealet med vindyrkning stadig meget lille.

De varmere klima har øget dyrkingen af majs til ensilage i Danmark (Odgaard et al., 2011). Dette har øget det gennemsnitlige majsudbytte fra omkring 10 ton tørstof/ha i 1985 til omkring 18 ton tørstof/ha i 2020 samtidig med at variationen i udbytter er blevet væsentligt reduceret. De højere udbytter og større dyrkningssikkerhed førte i perioden 1990 til 2010 til en stigning i majsarealet fra 17.000 ha til 170.000 ha, og majs er nu en dominerende foderafgrøde på både konventionelle og økologiske kvægbrug.

## 3.2 Husdyrproduktion

Dyr i produktionslandbruget har gennem mange generationer været avlet efter parametre såsom højere ydelse, højere tilvækst og bedre fodereffektivitet. Dette har medført at nutidens produktionsracer har et højt stofskifte og dermed en høj varmeproduktion, som har medvirket til at gøre produktionsdyrene mindre tolerante over for varmemstress (Hansen, 2007). Dette har man delvis forsøgt at kompensere for ved fysisk tilpasning af dyrenes omgivelser såsom isolering og regulering af ventilation i stalde, overbrosning og ændret fodring. Med udsigt til mere ekstremt vejr som følge af klimaforandringer, herunder flere dage med høje temperaturer, evt. kombineret med højere luftfugtighed, vil der kunne forventes flere dage årligt med varmemstress hos produktionsdyrene. Dette vil udover at påvirke dyrevelfærd og -sundhed også påvirke produktionsegenskaber såsom tilvækst, fodereffektivitet, mælkeydelse og reproduktionsresultater negativt (Renaudeau et al., 2012, Baumgard & Rhoads, 2013, Polsky & von Keyserlingk, 2017).

### 3.2.1 Dyrevelfærd og -sundhed

Klimacændringer vil kunne påvirke husdyrenes velfærd både direkte f.eks. via varmemstress (metaboliske forstyrrelser, oxidativ stress og immunsuppression) og indirekte via tilgang på foder og vand. Tilgang på foder og vand af god kvalitet er basale behov, og mangel eller dårlig kvalitet vil kunne stresser dyrene og føre til sygdom eller sult. Længerevarende tørkeperioder vil for eksempel kunne lede til mangel på græs til afgræsning, og tilskudsfoder vil være nødvendig. Højere temperaturer kan også være positivt for udegående produktionsdyr i områder med kolde vintre, med reduceret dødelighed og/eller bedre sundhed og velfærd (Lacetera, 2019).

#### 3.2.1.1 Varmestress

Risiko for varmemstress er en af de største udfordringer ved klimacændringerne vi kender i dag, og er en risiko for dyr både på udearealer, men ikke mindst indendørs i stalde og ved transport. Varmestress opstår hvis dyrene ikke kan regulere deres kropstemperatur så den holder sig inden for deres termoneutral zone eller komfortzone. Dyrenes termoregulering kan deles ind i termiske soner, hvor termoneutral zone er temperaturer mellem dyrets øvre og nedre kritiske temperatur, hvor dyrene bruger minimal energi på termoregulering (Godyń et al., 2019). Ved temperaturer ud over den termoneutral zone vil dyrene få sværere ved at regulere kropstemperaturen, og vil bruge ekstra energi på at aktivt forsøge at reducere kropstemperaturen (eller øge temperaturen ved nedkøling) ved f.eks. at søge skygge, større vandoptag og reduceret foderoptag. Kombination af vind, temperatur, luftfugtighed og solstråling afgør dyrs mulighed for termoregulering. En potentiel lavere solindstråling i Danmark (tabel 1) er positivt i forhold til risikoen for varmemstress hos udegående produktionsdyr i Danmark, men en forventning om højere gennemsnitstemperatur og flere varmebølgedage er negativt.

Udendørs kan tørkeperioder med høje dagtemperaturer lede til varmemstress, dersom dyrene ikke kan opnå afkøling via skygge, vind og/eller vand. En vurdering af udegående dyrs behov for skygge i sommerperioden (Fogsgaard et al., 2017) konkluderede at der er stor risiko for at udegående dyr i Danmark er udsat for periodisk varmemstress, og særlig dyr uden tilgang til skygge. Vurderingen blev lavet på baggrund af historiske meteorologiske data fra 2000-2016, og på temperaturer målt i skygge. Indendørs kan overskydende varme fra de enkelte dyr forstærke varmen i stalden, og gøre det endnu sværere for dyrene at komme af med overskydende varme.

### 3.2.1.2 Nedbør og vind

Større nedbørsmængder og højere vindhastighed vil kunne bidrage til nedkøling af dyr på udearealer. Store nedbørsmængder vil også kunne føre til våde områder, og mudrede udeareal pga. oprædning. Mudrede areal vil kunne være negativt for klovsundhed og yveret kan blive udsat for flere bakterier, med risiko for yverbetændelse. I perioder med høj luftfugtighed kan det være vanskeligt at holde strøelsen i stalden tør, hvilket forbedrer vækstbetingelserne for patogene bakterier i strøelsen.

### 3.2.1.3 Parasitter og insekter

Højere temperaturer vil også kunne lede til flere og/eller andre parasitter og insekter. Parasitter er afhængige af at have en vært og er svært påvirket af vejrforhold og mikroklima. Litteratur tyder på at nogle parasitforekomster vil stige, pga. mildere vintre, mens andre bliver reduceret pga. højere dødelighed ved højere temperaturer (Rose et al., 2015). Store bestande af forskellige insekterarter, kan påvirke husdyrs sundhed negativt på grund af overførsel af smitsomme og parasitære sygdomme og frembringelse af insektallergi (Baldacchino et al., 2014a). Blodsugende insekter kan også være svært irriterende og stressende for dyr, og det kan gå ud over deres produktion (Baldacchino et al., 2014b; Kamut and Jezierski, 2014).

### 3.2.1.4 De enkelte husdyrarter

**Grise** har ingen svedkirtler, Varmestress påvirker grisens respiration, kropstemperatur og foderoptag (Pearce et al., 2013). Der er registreret højere so-dødelighed om sommeren end om vinteren (Sørensen and Thomsen, 2017), og særlig søer i traditionelle farestalde hvor soen fikseres, er i risiko for varmemstress (Muns et al., 2016). Søer der skal fare har en termoneutral zone mellem 18-20 °C (Silva et al., 2009), mens smågrise skal have temperaturer på 25-30 °C (Herpin et al., 2002). Tiltag for at sikre en høj temperatur for smågrise eller høje sommertemperaturer kan derfor lede til varmemstress hos soen. Det er også vist at risikoen for varmemstress er større indendørs end udendørs, dersom ikke den overskydende temperatur som dyrene frigør køles ned (Mikovits et al., 2019; Schaubberger et al., 2021). Løsgående søer og lavere belægningsgrad vil reducere risikoen for varmemstress. Temperaturændringer vil også påvirke grisens adfærd, med flere grise liggende på spaltearealet og større tilgrusning af fast gulv ved høje temperaturer (Huynh et al., 2005).

**Fjerkræ** har ligeledes ingen svedkirtler, og kan derfor først og fremmest frigive varme via deres luftveje (Saeed et al., 2019). De er derfor meget følsomme overfor høje temperaturer. Kropstemperaturen hos fugle varierer mere end hos pattedyr, og varierer blandt andet med alder, køn (hanfugle har højere temperatur end hunfugle), vægt, race (mindre racer har højere kropstemperatur end store racer), fjerskifte (højere kropstemperatur under fjerskifte end med fuld fjerdragt) (Saeed et al., 2019). Termoneutral zone til kyllinger er på 27.5-37.7 °C (Kampen et al., 1979). Fugle er generelt komfortable ved en temperatur på omkring 24 °C og fungerer normalt op til ca. 27 °C (Saeed et al., 2019). Forøget respiration ved varmemstress frigør mere carbondioxid til omgivelserne, og der opstår forhøjet ph i blodet som forstyrrer syre-base balancen i

kroppen. Dette har skadelige effekter både på dyrenes sundhed og produktion. Avl på højproduktive dyr har ført til mindre varme-tolerante dyr (Kumar et al., 2021).

**Kvæg:** Køer kan svede, men de har få svedkirtler, så de skal primært regulere kropstemperaturen gennem respiration. Den termoneutrale zone for køer i laktation ligger omkring -0,5 til 20°C (West, 2003). Der er dog individuelle variationer i forhold til laktation og ydelsesniveau, hvor køer i deres første laktation er mindre sensitive til varmemstress end køer der har haft flere laktationer (Bernabucci et al., 2014), og højtydende malkekøer producerer mere varme og er mere sensitive til varmemstress end køer med lavere ydelse (Herbut et al., 2021). Risikoen for varmemstress hos kvæg afhænger af temperatur og luftfugtighed (Tabel 2) og beregnes i indekset THI (Collier et al., 2012). Ved det almindelige niveau af luftfugtighed i Danmark, kan der allerede ved temperaturer på 20-22°C ses varmemstress hos køerne (SEGES 2020; Segnalini et al., 2013). Kvæg reagerer på varmemstress ved at være mindre aktive og optage mindre foder for at reducere varmeproduktionen (Allen et al., 2015). For at slippe af med varmen vil koen begynde at svede og få hurtige vejtrækninger, og søge skygge og træk/brise. Man kan derfor få indikation på varmemstress ved at vurdere koens åndedræt, for eksempel ved hjælp af et udviklet "Panting score system" (Gaughan et al., 2008). De drikker også meget mere vand, og produktion af mælk bliver reduceret (dos Santos et al., 2021; Herbut et al., 2021). Lavere foderoptag vil kunne påvirke dyrenes energibalance, og dyrene bliver mindre robuste mod sygdomme, med risiko for yverbetændelse og klowlidelser. Eksempelvis steg celletallet hos mælkekøer i Danmark på landsplan ved tørke i sommeren 2018 og høj luftfugtighed i 2019 (SEGES, 2021). Varmemstress påvirker også dyrenes reproduktionsprocesser, både indirekte via forlænget negativ energibalance og direkte ved at unormal høj kropstemperatur har negativ effekt på udskillelse af reproduktionshormoner, og resulterer i en lavere drægtighedsprocent (Negrón-Pérez et al., 2019). Et forsøg med køer i klimastald fandt at moderat varmemstress i fire dage reducerede køernes mælkeydelse med 53 % og tørstofoptag med 48 % (Garner et al., 2017). De negative effekter af varmemstress om dagen kan dæmpes ved afkøling om natten (Herbut et al., 2021).

Tabel 2. Risikoen for varmemstress hos kvæg afhænger af temperatur og luftfugtighed og beregnes i indekset THI (Collier et al., 2012). Ved en temperatur på 21 grader og 60 % luftfugtighed beregnes THI til 67. Ved 25 grader (varmebølgedag) og 60 % luftfugtighed beregnes THI til 73 med moderat stress til følge. Equivalent Temperature Index (ETIC) tager desuden hensyn til lufthastighed og solindfald (Wang et al., 2018).

Mild stress	Moderat stress	Alvorligt stress	Letal fare
$68 \leq \text{THI} < 72$	$72 \leq \text{THI} < 80$	$80 \leq \text{THI} < 90$	$\text{THI} \geq 90$
$18 \leq \text{ETIC} < 20$	$20 \leq \text{ETIC} < 25$	$25 \leq \text{ETIC} < 32$	$\text{ETIC} \geq 32$

## 3.2.2 Produktion

Klimacændringer vil påvirke husdyrproduktionen på en række områder. Påvirkningen vil blive forskellig for forskellige husdyrarter og indenfor forskellige produktionssystemer og dyretyper indenfor de enkelte husdyrarter. Disse forhold vil påvirke produktionen af kød, mælk og æg.

### 3.2.2.1 Grise

Grise går generelt i lukkede ventilerede stalde. Hvis ikke der er tilstrækkelig ventilation til at dyrenes temperatur kan holdes i den termoneutrale zone vil foderoptagelse og tilvækst vil blive reduceret. En stigning i rumtemperaturen til over den termoneutrale zone resulterer i (Liu et al., 2022):

1. Reduceret foderoptagelse og øget forbrug af foderets energi til vedligeholdelse på bekostning af aflejring, og dermed reduceret fodereffektivitet.
2. Oxidativ stress, som fører til kompromitteret tarmbarriere funktion og oocyt skader.
3. Nedsat muskelfiberudvikling af fostre under drægtigheden.
4. Drægtidsprocent hos søer kan falde fra ca. 89 % til så lavt som 64 %.
5. Reduceret fødselsvægt for pattegrise til mindre end 1,1 kg.

Den reducerede fødselsvægt og muskelfiberudvikling hos pattegrise fører til reduceret overlevelse og tilvækst. Øget energibehov til vedligeholdelse på bekostning af vækst hos voksende grise fører til reduceret fodereffektivitet, tilvækst og slagtevægt. Desuden falder kødprocenten og fedtprocenten stiger i slagtekroppene. Alt dette fører til forringet økonomi ved at producere grisekød. Den reducerede fodereffektivitet fører også til øget negativ indvirkning af griseproduktion på miljøet, da der vil blive udskilt mere kvælstof og fosfor pr. kg produceret kød, og desuden vil det kræve dyrkning af en lidt større fodermængde, med den deraf følgende øgede klimapåvirkning.

### 3.2.2.2 Slagtekyllinger

En stigning i rumtemperaturen til over den termosneutrale zone resulterer i (Teyssier et al., 2022; Rostagno, 2020):

1. Oxidativ stress, som fører til kompromitteret tarmbarrierefunktion, der resulterer i risiko for diarré og absorption af toxiner fra tarmen
2. Reduceret foderoptagelse og øget forbrug af foderets energi til vedligeholdelse på bekostning af vækst hos slagtekyllinger, hvilket igen fører til reduceret fodereffektivitet og tilvækst samt reduceret slagtevægt.

Ligesom hos grise fører det til forringet økonomi ved at producere slagtekyllinger. Den reducerede fodereffektivitet fører også til øget negativ indvirkning af slagtekyllingeproduktion på miljøet og klimaet af de samme årsager som for grise.

### 3.2.2.3 Æglæggende høner

En stigning i rumtemperaturen til over den termoneutrale zone resulterer i (Teyssier et al., 2022; Rostagno, 2020):

1. Oxidativ stress, som fører til kompromitteret tarmbarrierefunktion, der resulterer i risiko for diarré og absorption af toxiner fra tarmen.
2. Oocyt skader der påvirker ægproduktionen negativt.
3. Varmestress der fører også til produktion af æg med tynde æggeskaller på grund af de negative virkninger af varmetress på syre-basebalancen.
4. Reduceret foderoptagelse og øget forbrug af foderets energi til vedligeholdelse og større behov til ægproduktion hos æglæggende høner, hvilket fører til nedsat fodereffektivitet og reduceret ægproduktion.

Alt i alt fører det til reduceret indkomst ved at producere æg. Den reducerede fodereffektivitet fører også til øget negativ indvirkning af ægproduktion på miljøet.

### 3.2.2.4 Kvæg

Mælkeydelsen forventes fortsat at stige pga. avl, forbedret fodring og management. Den højere mælkeproduktion (Lund et al. 2021) vil føre til en større foderoptagelse og dermed en større varmeproduktion. I lange perioder med høje temperaturer kan mælkeydelsen blive lavere end ellers forventet. Dette kan som beskrevet nedenfor både skyldes varmestress, men også indirekte effekter som nedsat foderoptagelse og sygdomme. Effekterne vil afhænge af, om dyrene er ude, og hvis de er indenfor vil staldforhold have stor betydning.

### 3.2.3 Foderforsyning og -behov

Overordnet set vil foderforsyningen afhænge af tilgængeligheden og prisen på de enkelte fodermidler. Der kan generelt forventes højere udbytter af afgrøder i Danmark ved et varmere klima i fremtiden. Hvis der i fremtiden forbliver et uændret omfang af de enkelte husdyrproduktioner, vil der være mulighed for en større andel af dansk foder ved et større markudbytte pr. ha. Det er dog uforudsigeligt, hvor stor husdyrproduktionen vil blive, da den både vil afhænge af den danske husdyrproduktions konkurrenceevne, efterspørgslen efter animalske fødevarer og eventuelle lovmæssige tiltag, der måtte begrænse forskellige dele af husdyrproduktionen. Foderforsyningen kan også blive påvirket af regler for anvendelse af specifikke fodermidler, herunder begrænsninger grundet lovregulering eller aftaler indenfor specifikke brancher. Dette kunne f.eks. dreje sig import af foder baseret på genmodiserede (GM) afgrøder, eller soja- og palmeprodukter, der bl.a. dyrkes, hvor der er ryddet regnskov.

Hvis der sker et stop for import af disse to fodermidler, vil foder- og især proteinforsyningen skulle erstattes af fodermidler avlet i Danmark, eller typisk i resten af EU, hvilket vil give en øget konkurrence om disse produkter. I perioden 2011 – 2020 har der været en import af i gennemsnit 1.100 mio. kg protein pr. år til foderbrug i form af oliekgager, -mel og -skrå, hvoraf 2/3 var fra sojakager (Gylling & Hermansen, 2018; Jørgensen et al. 2021). Den samlede import af oliekgager, -mel og -skrå udgjorde 40% af forbruget af protein til foder i denne periode (Gylling & Hermansen, 2018).

Foderforsyningen vil også være afhængig af, hvordan udbyttet udvikler sig for de enkelte afgrøder både indenfor de forskellige kornarter, og mellem forskellige grovfoderkilder som græs, majs og roer. Hvis andelen af udegående dyr ændres, vil det medføre en ændret samlet foderforsyning. Udegående høner og søer optager kun en mindre del af foderet direkte fra markens produktion, så andelen af udegående høns og søer vil ikke påvirke behovet for korn og proteinfodermidler væsentligt i forhold til nu. Derimod vil f.eks. en større andel af kvæg på græs betyde, at en større andel af foderforsyningen dækkes af græsmarksprodukter. Mildere klima kan i nogle år give mulighed for at lukke dyr tidligere på græs, hvorimod evt. større regnmængder om efteråret vil føre til mudrede og uanvendelige drivgange, så malkekøer må holdes på stald.

Ved økologisk kvægproduktion skal 60% af fodertørstof være grovfoder, hvilket er lidt højere end der anvendes til konventionel kvægproduktion, og økologisk kvæg skal på græs. Begge dele vil føre til, at en højere andel af foderet vil være græs-baseret, bl.a. fordi økologisk græsproduktion er nemmere at indplacere i sædskiftet end majs. Økologisk fjerkræ og grise skal også have adgang til udeareal, men den største del af foderet gives på stald, og ligner det der anvendes til konventionelle dyr, bortset fra at visse tilsætningsstoffer ikke må anvendes. Ved en ændret andel af økologisk kvæg vil der ske nogen ændring i foderforsyningen, mens det ikke vil give de store ændringer for grise og fjerkræ.

### 3.3 Miljø- og klimapåvirkning

#### 3.3.1 Næringsstofudledninger

Landbruget udleder både kvælstof og fosfor til vandmiljøet, og udledningen af begge næringsstoffer påvirkes af klimaet (Jeppesen et al., 2009, 2011). Det er især stigende vandafstrømning, der øger udledningen af både kvælstof og fosfor. Der har over de seneste årtier især været øgende nedbørmængder i Vest- og Nordjylland, og dette har ført til betydeligt stigende afstrømning i vandløb i Jylland (stigning på 2-4 mm/år), men lavere stigning i afstrømning på Fyn og ingen ændring på Sjælland.

Klimaet påvirker også kvælstofudvaskningen indirekte gennem effekter på afgrødernes vækst og kvælstofoptag samt gennem effekter på effektiviteten af virkemidler. Flere typer klimaekstremer (fx tørke og ekstrem nedbør) vil gennem påvirkning på afgrøderes vækst og virkemidlers effektivitet kunne øge kvælstofudvaskningen. Kvælstofoptaget bliver især negativt påvirket gennem tørke, som fx i 2018, og dette vil kunne øge den kvælstofmængde, der er til rådighed for udvaskning, hvis det ikke modvirkes af effektive efterafgrøder. God etablering og vækst af efterafgrøder er afgørende for deres evne til at reducere kvælstofudledningen (De Notaris et al., 2018), og dette kræver at afgrøden høstes i så tidligt at efterafgrøden kan få en tilstrækkelig lang vækstperiode inden vinteren. Høsttidspunktet for kornafgrøder viser en betydelig geografisk variation i høsttid (12-18 dage) på tværs af landet (Pullens et al., 2021). Kølige vækstsæsoner og våde høstforhold giver sen høst, og det giver særligt vanskelige forhold for etablering af efterafgrøder i de dele af landet, hvor klimaforholdene i forvejen giver sen høst.

#### 3.3.2 Udledninger af klimagasser

Landbrugets udledninger af klimagasser er især bestemt af mikrobiologisk omsætning i jord, dyr og husdyrgødning, og disse vil i stort omfang være betinget af klimatiske forhold. Der er dog tale om komplicerede sammenhænge, hvor stigende temperatur ikke altid giver øgede udledninger, da andre miljøeffekter (fx jordfugtighed) også spiller ind. Disse effekter indgår derfor kun i begrænset omfang i de nationale emissionsopgørelser. Det er således kun for opgørelsen af kulstof i mineraljord, at temperaturen spiller en rolle for beregningerne af CO<sub>2</sub>-udledninger fra dansk landbrug. I disse beregninger, som foretages med C-TOOL modellen (Taghizadeh-Toosi et al., 2014a) vil øget temperatur føre til lavere kulstoflagring i jorden og dermed alt andet lige til større nettoudledninger fra landbruget. Det er vanskeligt at finde denne effekt gennem målinger, men der er indikationer på at øget temperatur mindsker jordens kulstoflager (Taghizadeh-Toosi et al., 2014b).

## 4 Forventede tilpasninger frem mod 2050

Ændringer i den fremtidige landbrugsdrift vil blive drevet af både politisk regulering begrundet i hensyn til miljøet, energi- og fødevarerikkerhed og af markedet. Dansk landbrug er en hovedudleder af drivhusgasser og kvælstof til vandmiljøet, som nødvendigvis må reduceres i henhold til internationale aftaler. Dette er i sig selv en vanskelig opgave, som skal bringes til at gå hånd i hånd med klimatilpasningen. Denne tilpasning vil således skulle understøtte den grønne omstilling. Markedsudviklingen er svær at spå om, da produktionen i dansk landbrug ikke nødvendigvis vil følge efterspørgslen på globalt plan, hvor der stadig



er en stigende efterspørgsel efter animalske produkter grundet i global befolkningstilvækst og velstandsstigning i udviklingslandene. Samtidig er der dog globalt en stadig stærkere forbrugerbevidsthed om at en større andel af vegetabiliske produkter i kosten er sundere og er med til at nedbringe udledningen af drivhusgasser. Der må derfor forventes en større efterspørgsel på plantebaserede produkter, men samtidig vil der også være en stigende efterspørgsel på bioenergi og biomaterialer. En del af denne efterspørgsel vil kunne sikres gennem produktion af biomasser, der efterfølgende gennem bioraffinering opgraderes til fødevarer, foder, energi og materialer.

## 4.1 Planteavl

Indenfor planteavlen forventes både nye dyrkningssystemer med forbedret teknologi og fortsat forædling af nye sorter og arter af landbrugsplanter at kunne bidrage med større udbytte og bedre og mere målrettet kvalitet under de ændrede klimaforhold at kunne bidrage til et mindre klima- og miljøaftryk i planteproduktionen. Denne indsats vil skulle fokusere på tilpasning til et varmere og mere variabelt klima, hvor temperatur og nedbør varierer mere mellem årene end i det nuværende klima. Dette kræver en højere grad af resiliens i dyrkningssystemer, hvor effekter af øget tørke og oversvømmelser minimeres. Dette opnås gennem ændring i dyrkningssystemer og dyrkningsteknologi, men også forædling af sorter med bedre tolerance over for ekstremer spiller en rolle. Hertil kan varsling mod ekstremer og forsikring mod disse spille en rolle (Zhao et al., 2022).

### 4.1.1 Dyrkningssystemer

Ændringer i det fremtidige afgrødevalg vil på samme måde som landbruget generelt blive drevet af både politisk regulering og af markedet. I forhold til klimatilpasning vil der især være fokus på at sikre en stabil og høj planteproduktion af god kvalitet. Dette involverer dyrkning af nye arter og sorter, ændringer i dyrkningsteknik, gødsning, jordbearbejdning, dræning, vanding og plantebeskyttelse. Hertil kommer at krav om lavere udledning af næringsstoffer og drivhusgasser også kræver ændringer i dyrkningsformer. Dette vil formentlig medføre en udvikling mod større arealer af flerårige afgrøder, især græsafgrøder, men på længere sigt også udvikling af nye typer flerårige afgrøder, fx flerårig kornafgrøder, især af rug og hvede. Sådanne afgrøder vil have et dybere rodnet og ikke kræve intensiv jordbearbejdning. De vil dermed generelt være mere resiliente overfor både tørke og oversvømmelser.

### 4.1.2 Nye arter og sorter

Der er i Danmark allerede sket en tilpasning med dyrkning af majs til ensilage til fodring af kvæg. Med yderligere opvarmning vil dyrkning af majs modenhed som svinefoder blive relevant. Dette er dog delvis udfordret af krav om lav kvælstofudledning til vandmiljøet, og der vil skulle udvikles effektive efterafgrøder, der vil kunne sikre lav kvælstofudledning fra majsdyrkning (Doltra et al., 2014). Et varmere klima giver nye muligheder for dyrkning af proteinafgrøder til plantebaserede fødevarer, som fx sojabønne og quinoa. Disse afgrøder vil dog i betydelig grad være udfordret i forhold til den øgede klimavariabilitet, da disse i varierende grad vil være påvirkede af tørke og/eller oversvømmelser.

Der er i høj grad brug for udvikling flerårige afgrøder med dybere rodnet, som bedre vil kunne modstå både tørke og oversvømmelser. Dette omfatter i første række græsmarksplanter som arter af græs og kløver. Disse afgrøder vil kunne anvendes som grundlag for bioraffinering til foder, fødevarer, energi og materialer. Sådanne afgrøder vil desuden kunne mindske landbrugets næringsstofudledninger (Manevski et al., 2018). Denne udvikling kræver derfor også udvikling af en bioraffineringsindustri. For mange af de eksisterende afgrøder (især kornafgrøderne) er der et stærkt behov for udvikling af mere resiliente dyrkningsformer. I den

nuværende dyrkning anvendes hovedsageligt en enkelt sort af kornafgrøder på den enkelte mark. Der er gode indikationer for at sorter af vinterhvede reagerer forskelligt på klimaekstremer og dyrkning af en blanding af sorter med forskellig respons på klimaekstremer vil derfor kunne forøge resiliensen (Kahiluoto et al., 2019).

### 4.1.3 Dyrkning og gødskning

Højere temperatur giver ændrede betingelser for afgrødernes vækst i forår og efterår, og dermed også ændrede optimale tidspunkter for såning og gødskning (Doltra et al., 2014). I efteråret vil vintersæden alt andet lige skulle sås senere, men dette øger risikoen for kvælstofudvaskning, og der vil derfor skulle udvikles nye dyrkningsformer og sorter der sikrer tidlig såning af vintersæd uden af dette øger problemer med sygdomme og skadedyr. De vårsåede afgrøder vil kunne sås tidligere, forudsat af markerne er tilstrækkeligt veldrænede (Olesen et al., 2012). Korn- og frøafgrøder vil modne tidligere og dette giver bedre mulighed for dyrkning af efterafgrøder, og der vil kunne udvikles dyrkningssystemer hvor efterafgrøder vil kunne høstes og bruges til foder og bioraffinering (Pullens et al., 2021). Sådanne ændringer i afgrøder og dyrkningssystemer vil også give anledning til ændret behov for gødning, og dette kan medføre behov for ændringer i reguleringen af landbrugets næringsstofanvendelse, fx gødskning af efterafgrøder.

### 4.1.4 Jordbearbejdning

Der er stigende behov for at imødegå det faldende kulstofindhold i jorden, jordpakning og -erosion som følge af de stigende temperaturer og nedbør. Disse effekter er alle med til at forringe jordens kvalitet og værdi i dyrkningen, da afgrødernes rodvækst og mulighed for vand- og næringsstofoptagelse forringes.

Det faldende kulstofindhold kan imødegås ved større tilførsel af planterester herunder hyppigere dyrkning af flerårige afgrøder med stor rodmasse som f.eks. græs. Flere nye teknologier, som kan bidrage til dette, er pt under afprøvning og omfatter proteinekstraktion fra græs som kan øge andelen af arealet med græsafgrøder og produktion og brug af biochar som indeholder inert kulstof med lang levetid i jorden (Elsgaard et al., 2022). Også udbredelse af efterafgrøder bidrager til større kulstofindhold, som forbedrer en række af jordens egenskaber herunder aggregatstabilitet, luftskifte og betingelser for rodvækst.

Jordpakning imødegås bedst ved brug af maskiner, der ikke så tunge, ved brug af faste kørespor og ved at undgå kørsel på våd jord. Der er udviklet modeller, der kan beregne jordens vandindhold, trykket fra maskinernes dæk ved overkørsel og effekten af dette på jordpakning (Schjønning et al., 2015).

Erosion, som skyldes rindende vand på skrånninger, kan undgås ved passende jordbearbejdning på tidspunkter hvor risikoen er lille i kombination med valg af afgrøder, der modvirker erosion. Problemet er størst i forbindelse med etablering af afgrøder i sensommeren herunder efterafgrøder, da der i denne periode ofte forekommer nedbørshændelser med stor intensitet. Da alvorlig erosion, der kan være ødelæggende for en jords dyrkningsværdi, er et forholdsvis nyt fænomen i Danmark, er det grund til at være ekstra opmærksom på faren og iværksætte forholdsregler. Tilpasning af jordbearbejdningen til de nye klimaforhold er således særdeles væsentlig for at fastholde og gerne øge roddybde og jordens vandholdende evne. Dette vil endvidere bidrage til at imødegå forventede længevarende tørkeperioder på de 80 % af landbrugsarealet, der ikke kan vandes.

### 4.1.5 Dræning og vanding

Den stigende nedbør øger behovet for dræning specielt på de produktionsmæssigt værdifulde højbundjorde. Når en jords porer er vandfyldte, bliver der mangel på ilt til planternes rødder, hvilket

hæmmer næringsstofoptagelse og vækst (Deichman et al. 2019). Et andet og måske større problem er, at jorden i forårsmånederne vil blive senere tjenlig til såning, hvilket typisk kan medføre udbyttetab. Også i efterårsmånederne må der forudses større problemer i forhold til etablering af vinterafgrøder. De stigende problemer i forhold til afgrødeetablering vil modvirke den vigtige klimatilpasningstrategi der ligger i at have vinterafgrøder og så vårafgrøder tidligt og dermed undgå hedeølger og tørkeperioder senere på sommeren. Et større areal vil derfor have behov for dræning og der vil også være behov for fornyelse af eksisterende dræn. Det er imidlertid et problem for landbruget, at det i mange områder ikke er muligt at komme af med drænvandet til vandløb pga. stigende vandstand i perioder med megen nedbør. Dette er specielt et problem nedstrøms i vores å-systemer. Dette er en meget kompleks problemstilling, som kræver hydrologisk modellering på oplandsniveau for at vurdere og som der næppe kan findes løsninger på, der fuldt ud imødekommer landbrugets behov. Den øgede afstrømning vil endvidere medføre større tilførsel af nitrat og fosfor til det akvatiske miljø (jf. afsnit 4.3) medmindre der gennemføres flere afværgeforanstaltninger, såsom konstruktion af vådområder og randzoner langs åløb (fx. Plauborg et al., 2021)

Som en udløber af den større variabilitet i klimaet, må der forventes længere og mere ekstreme tørkeperioder. Selvom 2018 var ekstrem i denne henseende med et tab på over 4 milliarder kroner i mistet høstudbytte, kan der ikke forventes en større udvidelse af det vandede areal, da økonomien i dette skal vurderes over en længere årrække. Den forholdsvis lave frekvens af tørke gør det i sig selv vanskeligt at planlægge på området (Blauhut et al. 2022). Et andet problem på dette område er at opfylde behovet for vand til vanding i tørkeår, da vandforsyningen til husholdninger, industri og vandføring i vandløb er højere prioriteret. Vandingstilladelser giver som regel landmænd ret til at indvinde en begrænset mængde pr år typisk 100 mm per ha, medens behovet i 2018 mange steder var over 250 mm. I en del kommuner blev der givet dispensation til landbrug til at bruge mere vand, og der er kan være et behov for at sådanne dispensationsmuligheder bliver bedre undersøgt på forhånd, da det jo også er i tørkeår, at minimumsvandføringen i vandløb kan blive kritisk.

#### 4.1.6 Plantebeskyttelse

Der kan forudses betydelige ændringer i behovet for plantebeskyttelse i landbrugsafgrøder som følge af nye sygdomme og skadedyr og ændret/øget forekomst af eksisterende skadegørere. Generelt forventes klimacændringerne at medføre øget forekomst af sygdomme og skadedyr i de vigtigste landbrugsafgrøder, og forventede stigninger i pesticidforbrug på 10-20% (Henriksen et al., 2013). Dette øger udfordringen i forhold til strategien omkring reduktion af pesticidforbruget, og der vil skulle ske en betydelige øget indsats for at finde alternativer til pesticiderne (fx plant biologicals) og udvikling af dyrkningssystemer og sorter med øget modstandsdygtighed overfor sygdomme og skadedyr.

#### 4.1.7 Forædling

Den fremtidige forædling af nye sorter og sortsvalget for landmanden vil være baseret på samme principper og med samme mål som nu, dvs. sorter med en kombination af højt udbytte og kvalitet af det høstede produkt og også sorter, som klarer sig godt især mht. sygdomme. Nyt vil sandsynligvis være en betoning af egenskaber, som øget modstandsdygtighed over for tørke og oversvømmelser, og på kvalitetssiden fx sorter med forbedret foderkvalitet, hvor næringsstoffer udnyttes bedre.

Den genomiske information om geners DNA-sekvens og position i genomet vokser for en række plantearter eksponentielt i disse år med fremkomsten af ikke kun reference-genomsekvenser for vigtige landbrugsafgrøder, men også såkaldte pan-genomer, hvor spændvidden i den genetiske variation

indenfor arterne afspejles (Thudi et al., 2021). Variationen findes ikke kun indenfor de dyrkede arter/sorter, men også i samlinger af vilde beslægtede arter/typer og såkaldte landracer af lokalt dyrkede typer af forskellige afgrøder (Milner et al., 2019). Dette udgør en vigtig ressource for at kunne kortlægge genetikken bag centrale egenskaber i forædlingen af klimarobuste afgrøder, fx sygdoms- og tørkeresistens. Denne kortlægning, sammen med det molekylærbiologiske/biokemiske kendskab til funktionen af enkeltgener, vil, hvis de nødvendige ressourcer er til rådighed, gøre det muligt målrettet at arbejde med enkeltgene egenskaber i fremtidens plantesorter for at tilpasse dem de kommende klimaforhold og generelt at forbedre deres egenskaber.

Øget kulstofindlejring i jorden via større og dybere rodnet vil sandsynligvis mest komme til at ske gennem en øget dyrkning af flerårige afgrøder. Men også for en-årige arter kan en målrettet udvikling af sorter med øget dybde og størrelse af rodnet komme på tale. Dette kan ske i kombination med udvikling af rødder med et forøget indhold af mere bestandige komponenter fx suberin (Schweitzer et al., 2021). De nye forædlingsteknikker vil være oplagte at anvende til dette formål, selvom der kræves yderligere afdækning af de genetiske faktorer/gener, som bestemmer rodtybde og -mængde. Et nyt amerikansk initiativ, Energy Future Initiative, forsøger at udvikle dette område (Energy Future Initiative, 2020). Som nævnt ovenfor kan en bedre næringsstofoptagelse hæmme lattergasudviklingen ved at fjerne frit nitrat fra jorden. Men derudover er der foreslået strategier, hvor planter modificeres til at hæmme nitrifikationen i jorden, så lattergasemissionen mindskes. Der er tale om transgene planter, der udskiller lattergasnedbrydende enzymer fra jordbakterier (Demone et al., 2018). Planter kan formodentlig også selv producere lattergas, selvom mekanismerne endnu ikke er kendte (Timilsina et al., 2020). Hvis de enzymatiske reaktioner afdækkes, vil disse sandsynligvis kunne hæmmes ved hjælp af genom-redigering af involverede gener.

Anvendelse af de såkaldt nye forædlingsteknikker (NBT – New Breeding Techniques inkluderende CRISPR/Cas, Brinch-Pedersen et al., 2018) vil være afgørende for, at ambitionerne om et klimaneutralt landbrug kan realiseres fra planteforædlingssiden. Afhængigt af de nye teknologiers gennemslag i forædlingsarbejdet vil der være et stort potentiale for, at mange forbedrede sorter vil blive dyrket efter brug af de nye forædlingsteknologier. De nye teknikker har allerede vist deres potentiale for udvikling af afgrøder, der er modstandsdygtige over for skadevoldere. Hvis ambitionen er et højeffektivt sprøjtefrit landbrug, anses det som en nødvendighed at kunne anvende NBT. På baggrund af den eksisterende molekylærbiologiske/genetiske viden, og den forventede vækst i denne i de kommende år, vil især gener, som er involveret i modstandsdygtighed over for abiotisk og biotisk stress sandsynligvis være mål for forbedringerne i de dyrkede sorter.

## 4.2 Husdyr

### 4.2.1 Staldsystemer

#### 4.2.1.1 Kvæg

Der bygges i dag kun åbne stalde til kvæg, hvilket også forventes at være gældende i fremtiden. Staldene har typisk lukkede gavle og helt åbne sider med naturlig ventilation, hvor luftmængden gennem stalden styres ved op- og nedrulning af gardiner. Lufthastigheden omkring dyrene kan nedsætte deres oplevelse af varmestress. Wang et al. (2018) har udviklet en formel til beregning af Equivalent Temperature Index (ETIC) der foruden indflydelse af temperatur og luftfugtighed også baseres på lufthastighed og solindfald. For at bringe ETIC under 18 på en varmebølgedag med 25 grader og 60 % luftfugtighed skal lufthastigheden i stalden øges til 2,5 m/s. Varmeproduktionen fra en højtydende malkeko er stor og det vil

være særlig vigtigt at sørge for intern mekanisk ventilation på opsamlingspladsen til malkestalden, hvor dyrene står tæt. På varme dage skal opholdstiden her minimeres. I stalde med automatisk malkning kan dyrene også stå tæt ved indgangen til malkerobotten og her vil mekanisk ventilation også kunne nedsætte den oplevede varmemstress, samt sikre at dyrene kommer frivilligt til malkning. Køling af dyrene ved kombination af overbrusning, tågespray og ventilation anvendes ofte i varme egne. Under israelske forhold anfører Pinto et al. (2019), at 8 daglige overbrusninger er fordelagtigt i sammenligning med 3 perioder. Åndedrættet faldt fra i gennemsnit 60 til 44 pr. min. for 8 daglige overbrusninger og fra 73 til 47 vejtrækninger pr. minut for tre overbrusninger. Overbrusning eller vandforstøvning over dyrene er især en relevant mulighed ved lave luftfugtigheder, men de er mindre effektive, når luftfugtigheden er høj, som ofte er tilfældet under vores klimatiske forhold.

#### 4.2.1.2 Svin

Sostalde i Danmark ventileres generelt med mekanisk ventilationsanlæg og den ønskede indetemperatur for søer holdes på 15 – 20 °C via regulering af ventilationsanlæg. Søer producerer dog mere varme end tidligere på grund af den øgede produktivitet, fordi søer leverer flere smågrise pr. kuld og dermed producerer en større mængde mælk, og også på grund af den betydelige stigning i de voksne søers levende vægt (Bjerg et al., 2020). Derfor er det vigtigt, at staldsystemerne indrettes og styres på en måde, så søerne er i stand til at afgive den øgede varmeproduktion. Især indvirkningen af lufttemperatur på varmemstress, som søer lider af, er blevet undersøgt af mange forskere. Bjerg et al. (2020) indikerede, at lakterende søer reducerede deres foderoptagelse med op til 270 g dag<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> (pr. én grads øget lufttemperatur over 26 °C). Et gennemsnit baseret på 22 sammenligninger, viste at søernes mælkeydelse faldt med i gennemsnit 184 g dag<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> og at pattetgrisenes tilvækst (kuldvækst) er reduceret med 49 g dag<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>. Udover lufttemperaturen kan højere relativ luftfugtighed (RH) af luft også have en negativ indflydelse på søernes opfattelse af det omgivende termiske miljø. I samme undersøgelse blev det rapporteret, at en stigning i RH fra 30 % og 70 % ved en lufttemperatur på 30 °C svarer til en temperaturstigning på 1,9 °C for voksende grise (data for søer mangler). Derfor bør den negative effekt af RH ved højere lufttemperatur bemærkes, hvis en fordampningsafkølingsstrategi bruges til at afbøde varmemstress hos grise. Forøgelse af lufthastigheden i dyrenes opholdszone kan modvirke dyrenes varmemstress.

På grund af klimaforandringerne kan voksende grise også have et behov for køling, ellers vil det varme klima have en negativ effekt på produktivitet og dyrevelfærd. Tilgængelige tekniske løsninger svarer til dem, der er nævnt tidligere, herunder tilførsel af luft direkte til dyrenes opholdszone for at øge lufthastigheden omkring grise, højtrykskøling, gulvkøling og så videre. For at minimere de ressourcer, der kræves ved afkøling, er det nødvendigt at forudsige grises termiske status. Dette kan opnås ved at bruge den to-node mekanistiske termofysiologiske model foreslået af Huang et al. (2021a; 2021b). Emissioner ved høje lufttemperaturer vil resultere i ændring af dyrenes adfærd og derfor føre til svineri i stien (Huynh et al., 2005; Jeppsson et al., 2021b). Ammoniakudledningen stiger med højere temperatur og øgede udledningsarealer forårsaget af f.eks. svineri i stierne. Implementering af forskellige afkølingsstrategier såsom at øge lufthastigheden i hvileområdet og ved at bruse grisene kan føre til reduktion af ammoniakemissioner med henholdsvis 21 % (eller 8,4 til 6,6 g gris<sup>-1</sup>) og 45 % (Jeppsson et al., 2021b)

#### 4.2.1.3 Fjerkræ

Æg og fjerkræ produceres kommercielt i mekanisk ventilerede stalde. Slagtekyllinger produceres på fast gulv med strøelsesmåtte. Konsumæg produceres typisk på fast gulv eller etageanlæg og eventuelt med udendørsareal. Der findes tekniske muligheder til at modvirke, at temperaturen i dyrenes opholdszone

overstiger deres komfort temperaturzone og derved forebygge varmemstress. Løsninger omfatter blandt andet øget ventilation, konditionering af ventilationsluften, recirkulation af luften samt isolering af bygning og tagflade som påvirker de luftfysiske parametre temperatur, fugtighed og hastighed (Bjerg et al., 2018). Ventilationsstyring er vigtig for klimastyringen i fjerkræstalde. Øget lufthastighed kan sænke dyrenes kropstemperatur ved konvektionsvarmetab, når lufttemperaturen er lavere end dyrenes kropstemperatur. Bjerg et al. (2018) foreslog en model for effektiv temperatur (ET), hvor luftens chilleffekt (vindafkølingseffekt) er proportional med lufthastigheden eller kvadratroden på lufthastigheden og at chilleffekten aftager lineært med stigende lufttemperatur indtil lufttemperaturen er lig med dyrenes kropstemperatur. På varme dage kan ventilationsluften trækkes ind i stalden gennem de eksisterende luftindtag med en højere lufthastighed og rette vinkling af luftstrømmen for at øge luftcirkulation i dyrenes opholdszone. For at opnå maksimal køling via chilleffekt kan staldene være forsynet med recirkulationsventilatorer eller gavlventilatorer arrangeret til tunnelventilation (Saeed et al., 2019). For gulfvproduktion af slagtekyllinger indikerer Bjert et al., (2019) en lineær effekt af lufthastighed op til mindst 3 m/s og argumenterer for, at en høj densitet begrænser effekten af lufthastighed fordi dyrene giver læ for hinanden og lufthastigheden i det tilfælde nok nærmere er et udtryk for lufthastigheden over dyrene end imellem dyrene. Tilsvarende kan der være vind-skygge effekter i etageanlæg.

Køling af luften med højtrykskøling inde i stalden eller kølepads overrislet med vand i luftindtaget er en mulighed i klimaområder, hvor fugtigheden i udeluften ikke er for høj. Det kræver en omhyggelig overvågning og styring af den resulterende luftfugtighed. Ud over at dyrene skal kunne afgive fordampningsvarme gennem respirationen er styring af temperatur og luftfugtighed vigtig for at holde strøelsen tør, da våd strøelse producerer ammoniak (Saeed et al., 2019). Huset skal være designet til at modvirke penetrering af varme udefra i varme perioder, helst med tagryggen orienteret øst-vest og især isolering af tagfladerne herunder materiale- og farvevalg som mindsker varmeoverførsel fra solindstråling er vigtig (Saeed et al., 2019). For fjerkræ med adgang til udearealer skal der sikres tilstrækkelige skyggemuligheder på udearealerne.

## 4.2.2 Dyr på udearealer

Som beskrevet i afsnit 3 forventes følgende udfordringer ved hold af dyr på udearealer i et fremtidigt klima med a) længerevarende og mere intense varmeperioder samt b) flere og mere intense nedbørhændelser (både sommer og vinter). Dette kan medføre: i) varmemstress og solskoldning (grise); ii) reduceret foderforsyning, iii) øget insekttryk og iv) øget parasittryk

### 4.2.2.1 Træer/skovlandbrug

Implementering af træer (og buske) på udearealer forventes at forbedre udegående husdyrs muligheder for termoregulering i varme samt solrige perioder, og dermed at mindske risikoen for varmemstress (kvæg, grise, fjerkræ m.fl.) og solskoldning (grise). Mekanismen er todelt i og med, at træerne dels bryder den direkte solindstråling og dels forbedrer det termiske mikroklima i "dyrehøjde" gennem en reduceret jord- og lufttemperatur omkring træerne (Gosme et al., 2016; Schild et al., 2018; Oliveira et al., 2021). Samspil mellem træer og øvrige husdyr er sparsomt belyst, men danske studier tyder på, at træer kan have en positiv effekt på diegivende søers termiske komfort i varme og solrige perioder (Bonde, 2016; Schild et al., 2018). Tilsvarende effekt forventes for søer i sendrægtigheden, hvilket ligeledes er en periode med høj varmeproduktion. Især stedsegrønne nåletræer og løvtræer har potentielt en læ-skabende effekt i kolde, blæsende og regnfulde perioder, hvilket er særligt vigtigt for unge dyr. Særligt kalve uden adgang til et indendørs lejeareal er i risiko for nedkøling, hvorfor adgang til (bund)læ i form af træer eller buske kan forventes at forbedre velfærden for denne dyregruppe (Smith et al., 2012). Som nævnt i afsnit 3 kan

længerevarende og mere intense tørkeperioder potentielt reducere græsproduktionen og dermed udfordre foderforsyningen til udegående dyr. Veletablerede træer er generelt mere tørkerobuste end græs som følge af deres dybere rodsystem, og især i tropiske og subtropiske klimazoner anses fodertræer til produktion af grøn biomasse (blade og skud) som et vigtigt ernæringsmæssigt tilskud til drøvtyggere i perioder med ekstrem tørke, hvor græsudbytte og kvalitet er markant forringet (Vandermeulen et al., 2018).

#### 4.2.2.2 Alternative fourageringsafgrøder

I forhold til udegående dyrs foderforsyning, vurderes der for nuværende ikke at være gode alternativer til de græsblandinger og -arter, der anvendes i dag i afgræsningssystemer for højtydende malkekøer, men på arealer til slæt kan mere tørkeresistente arter som eksempelvis strandsvingel og hundegræs være et alternativ (Kristensen et al., 2020). Dette er formentlig også tilfældet i ekstensive afgræsningssystemer, hvor foderværdien kan have mindre betydning. Urter som eksempelvis bladcikorie, der har et relativt dybt rodsystem og høj næringsværdi i form af proteinindhold, fordøjelighed og palatabilitet, kan formentlig ligeledes udgøre et værdifuldt fodersupplement især i tørkeperioder for kvæg (Eriksen et al., 2006), grise (Kongsted et al., 2015) og høner (Horsted et al., 2007) med positive sundhedsmæssige sideeffekter (Horsted et al., 2011). Sidstnævnte skyldes bl.a. et højt indhold af tanniner som kan have en hæmmende effekt på parasitter

#### 4.2.2.3 Samgræsning og foldrotation/holistisk afgræsning

Vigtige virkemidler i forhold til parasithåndtering er foldrotation og samgræsning, hvor dyr med forskellig græsningsadfærd og/eller er vært for forskellige patogene organismer afgræsser samme område. Ved at planlægge hvornår og hvor længe dyrene er på de aktuelle folde, og i hvilken rækkefølge forskellige aldersgrupper er på folden, kan man reducere smittetrykket af indvoldsparasitter og andre patogene organismer da de typisk er afhængige af en vært inden en vis tid for at overleve (Eysker et al., 1998; Thamsborg et al., 1999; Miao et al., 2004). Flere patogene organismer spredes via dyrenes gødning, og stor dyretæthed i forhold til tilgængelig føde kan forårsage græsning tæt på egen gødning, og dermed smitte. Både indvoldsparasitter og patogener som coccidier er typisk artsspecifikke, hvorfor samgræsning potentielt kan reducere smittetrykket, bl.a. ved at andre dyrearter æder det inficerede græs. Forsøg indikerer således en gavnlig effekt af samgræsning på risikoen for parasitinfektion hos får, der samgræsser med kvæg (Martin et al., 2020), samt hos kvier, der samgræsser med drægtige søer (Roepstorff et al., 2000).

#### 4.2.2.4 Indretning af folde

Tilgang til læskure vil både kunne bidrage til skygge på varme sommerdage, ly og læ på kolde og våde dage. Effekten af læskure afhænger bl.a. af konstruktion (Fogsgaard et al., 2019) og tilgængeligt areal per dyr (Schütz et al., 2010; 2014). Tilgang til skygge resulterer i en lavere temperatur og reduceret solindstråling (Veissier et al., 2018; Edwards-Callaway et al., 2020). Adgang til læskure som blokerer for solindstråling resulterer i lavere kropstemperatur hos kvæg og grise, og reducerer også risikoen for solskoldning (Pietrosemoli og Tang, 2020; Tucker et al., 2008) og et review af Herbut et al. (2021) viste at kvæg vælger skygge ved temperaturer over 25 grader, og bruger mere tid udendørs end i stalden om natten ved varme sommerdage, og særlig ved regnvejr for afkøling. Blodsugende insekter tiltrækkes vanligvis i første omgang af lugt (olfaktoriske stimuli), og når de kommer nærmere, tiltrækkes de via visuelle stimuli (Van laer et al., 2014). Dette kan være en af årsagerne til at der er observeret færre insektplager i læskure, da det trolig er sværere at skelne dyrene fra baggrunden i læskure end udenfor (Hartmann et al., 2015). Undersøgelser af læskure til heste har vist mindre insektplage-relateret adfærd i læskure end udenfor (Hartmann et al., 2015), og man vil forvente, at dette vil være det samme for andre dyr. Der er positive erfaringer med forstøvning eller sprinkleranlæg til afkøling af kvæg og grise (Correa-Calderon et al., 2004; Pietrosemoli og Tang, 2020).



Kvæg vælger derimod skygge fremfor afkøling med vand via sprinkleranlæg, selv om vand er en mere effektiv nedkøling og reducerer også insektplage (Schutz et al., 2011). Tilgang til sølebad til grise er vigtig i forhold til termoregulering, forebygge solskoldning, og forebygge mod ektoparasitter (Pietrosemoli og Tang, 2020).

## 4.2.3 Fodring

### 4.2.3.1 Kvæg

Foruden de muligheder der er nævnt for at reducere varmeproblemet i afsnit 4.2.1 gennem staldindretning, er det også muligt hos kvæg at reducere belastningen gennem fodringen. Den første betingelse for at opretholde produktionen er, at foderoptagelsen kan holdes på det normale niveau. Det er først og fremmest vigtigt at undgå, at ensileret grovfoder tager varme, idet varmen fører til at både smagen og næringsværdien forringes. Dette kan undgås ved korrekt ensilering og udtagning af ensilage ved den daglige fodring, så det sikres, at der ikke allerede er en mikrobiel nedbrydning af foderet i gang før det blandes med resten af foderet. Hvis ikke dette er tilstrækkeligt, kan der tilsættes ascorbat, organiske syrer eller salte af disse til det færdigblandede foder. Det er i det hele taget vigtigt at sikre en god foderhygiejne for at undgå varmedannelse i foderet. Der kan blandes foder to gange i døgnet i stedet for én, så det blandede foder ligger foran dyrene i kortere tid. Der kan fodres med frisk foder sidst på dagen, hvor temperaturen er faldet, da køerne vil optage mere foder på dette tidspunkt end midt på dagen. De mest højtydende køer har størst risiko for varmestress, fordi de omsætter mere foder, og derved øges deres varmeproduktion. Hvis køerne får et mere koncentreret foder, vil de have en mindre varmeproduktion. Tilskud af fedt eller stivelse giver højere energi i foderet. Da det samtidigt giver mindre metan, bliver dette tiltag sandsynligvis anvendt i fremtiden for at reducere køernes klimapåvirkning. Det er vigtigt for alle husdyr, at der er tilstrækkelig vandforsyning til det større behov, når det er varmt. Hos kvæg kan der anvendes mere salt eller Natriumbicarbonat i foderet op til 4 g Na pr. kg tørstof i foderet for at opretholde dyrenes saltbalance (Martinussen, 2021). Slagtekalve producerer mere varme jo hurtigere de vokser, og jo mere foder de æder. God vandforsyning, ekstra salt eller Natriumbicarbonat i foderet og mindre andel af grovfoder i rationen kan reducere varmestress hos slagtekalve.

### 4.2.3.2 Grise

Øget forbrug af protein og fibre er forbundet med øget varmeproduktion, hvorimod øget forbrug af fedt er forbundet med reduceret varmeproduktion. Varmeproduktionen kan minimeres ved: i) reduktion af proteinindholdet i foderet, der kan erstattes med krystallinske, essentielle aminosyrer for at opfylde grisenes aminosyrebehov, ii) delvis udskiftning af kulhydrater (herunder stivelse og fibre) med fedt som energikilde i foder til svin med op til 6% i rationen, iii) forøgelse af foderets koncentration af næringsstoffer på grund af den reducerede foderoptagelse, iv) antioxidanter som E- og C-vitaminer og Se i foderet med det formål at reducere oxidativt stress.

### 4.2.3.3 Slagtekyllinger og æggelæggere

Ud over afbødningen beskrevet ovenfor for grise, kan følgende strategier anvendes til at afhjælpe de negative virkninger af varmestress hos slagtekyllinger og æglæggende høner: i) begrænsning af foderoptagelse til køligere timer på dagen, ii) forøgelse af foderpartikelstørrelse, iii) udskiftning af natriumchlorid i foderet med natriumbicarbonat kombineret med en stigning i foderets K-niveau for at opnå en elektrolytbalance på omkring 200 mEq /kg.



#### 4.2.4 Avl

Genetisk selektion for større robusthed over for varmemstress er en del af løsningen i tilpasningen af vores produktionsdyr til et mere ekstremt klima i fremtiden. Genetisk selektion er mulig, idet der er genetisk variation i tolerance over for varmemstress. Den genetiske fremgang opnås ved, at man i hver generation udvælger dyr, som er mere tolerante over for varmemstress, som forældre til næste generation. Dette bør ske under fortsat hensyntagen til andre væsentlige egenskaber i avlsmålet, såsom tilvækst og ydelse. Genetisk selektion er en langsigtet strategi over flere generationer, hvor man for hver generation opnår dyr som er mere og mere tolerante over for varmemstress.

For at kunne avle dyr som er mere tolerante over for varmemstress, er det nødvendigt til en start at definere egenskaber som har en genetisk sammenhæng til tolerance over for varmemstress, såkaldte indikatoregenskaber. Dyrenes indledende reaktioner på varmemstress er stigende respirationsfrekvens som i mere udbredte tilfælde går over i stigende overflade- og rektal-temperatur. Disse er anerkendte fysiologisk parameter til at udtrykke varmemstress, som kan måles direkte på produktionsdyrene (Huynh., 2005, Godyń et al., 2019). Der er fundet en moderat arvbarhed for dyrenes temperatur på hhv. 0,11 og 0,17 i studier af malkekvæg fra hhv. Australien og Florida (McMillan & Werf, 2007, Dikmen et al., 2012). Sidstnævnte fandt endvidere en positiv genetisk korrelation mellem dyrenes temperatur og ydelsesegenskaberne, hvilket indikerer at en entydig selektion for lavere temperatur vil medføre køer med lavere genetisk potentiale for ydelse. Hos svin har man tilsvarende fundet moderate arvbarheder for rektaltemperatur, respirations rate og overfladetemperatur som direkte udtryk for varmemstress (Seibert, et al., 2018, Gourdine et al. 2019). Fælles for disse egenskaber er, at de er arvbare, men det vil kræve store ressourcer at bestemme dem rutinemæssigt på et stort antal dyr.

De allerede udviklede genetiske modeller til at bestemme avlsværdi for tolerance over for varmemstress vil også kunne tilpasses til danske forhold, hvis det vurderes at der er et behov for at inddrage tolerance over for varmemstress i fremtidige avlsværdiurderinger. De rutinemæssige registreringer i produktionsbesætninger anvendes allerede, ligesom det er muligt at få adgang til lokale meteorologiske data. I udenlandske studier er der fundet lave til moderate arvbarheder for tolerance over for varmemstress. Arvbarheder er populationspecifikke, men så længe arvbarheden er større end nul, er det muligt at opnå en genetisk fremgang for egenskaben. Ved at anvende modeller som også tillader inddragelse af genomisk information, vil de individer som er genotyperet få avlsværdital for tolerance over for varmemstress som er mere sikkert bestemt end de individer som ikke er genotyperet. Inddragelse af genomisk information er specielt en fordel for egenskaber med en lav arvbarhed, hvilket baseret på eksisterende studier må forventes for tolerance over for varmemstress.

### 4.3 Beskyttelse af vandmiljøet

Med det varmere klima bliver vandmiljøet i både søer og fjorde mere følsomt over for tilførsel af næringsstoffer (Nielsen et al., 2014; Trolle et al., 2019). For at kunne opretholde en god økologisk tilstand i vandmiljøet vil der derfor skulle yderligere reduceres i tilførsel af næringsstoffer (kvælstof og fosfor) fra byer og landbrug (Trolle et al., 2015).

Resultater fra både modelbaserede analyser (Doltra et al., 2014) og analyse af langvarige forsøg med kvælstofudvaskning (Jabloun et al., 2015) viser øget kvælstofudvaskning under de forventede klimacændringer. En del af dette skyldes, at øget temperatur i efterårs- og vinterperioden øger omsætning og nedbrydning af organisk stof i jorden. Dermed bliver mere kvælstof mineraliseret og tilgængelig for udvaskning. Dette kan kun modvirkes gennem dyrkning af afgrøder og efterafgrøder i efterårs- og

vinterperioden. Der bliver derfor med klimacændringer behov for stigende fokus på sammensætning af sædskiftet med henblik på at minimere næringsstoffab. En anden årsag til øget nitratudvaskning er stigende nedbørmængder, som øger afstrømningen og dermed N udvaskningen.

Der foreligger et katalog over virkemidler til reduktion af kvælstofudledninger til vandmiljøet (Eriksen et al., 2020) og reduktion af fosforudledninger til vandmiljøet (Andersen et al., 2020). Disse virkemidler vil også være effektive under de forventede klimacændringer, men deres effektivitet vil løbende skulle evalueres og der er brug for yderligere virkemidler.

#### 4.4 Samspil med europæisk og global klimatilpasning

Klimacændringer vil påvirke det globale fødevarereproduktion og stigende temperaturer vil reducere udbytter af de fleste kornarter på verdensplan (Makowski et al., 2015). Dette skyldes at stigende temperaturer reducerer afgrødernes vækstperioder og at stigende temperatur også reducerer afgrødernes vandudnyttelse, især i tørre og varme områder af verden. Samtidig forventes omfanget af tørke at stige voldsomt med de stigende temperaturer, og dette vil især påvirke verdens kornproduktion negativt (Trnka et al., 2019). Der ses allerede stigende forekomst af tørke i de tørre egne af verden, og dette har ført til betydelig fokus i denne områder på muligheder for tilpasning, især gennem forbedringer af vandhusholdning og vandforsyning til afgrøderne (Zhao et al., 2022). Dette er dog udfordret af at brugen af ferskvand mange steder i verden i forvejen overstiger det bæredygtige niveau. Dette taler for, at der for at opretholde en samlet fødevarerforsyning ville skulle en større fokus på en bæredygtig fødevarereproduktion i de egne af verden, der som i Nordeuropa er mindre truet af klimaforandringer.

## 5 Referencer

- Albæk S (2021) West Nile Virus rykker tættere på med klimaforandringer. Dansk Veterinærtidsskrift nr. 1:30-32.
- Alhenaky A, Abdelqader A, Abuajamieh M, Al-Fataftah A-R (2017) The effect of heat stress on intestinal integrity and Salmonella invasion in broiler birds. *Journal of Thermal Biology* 70:9-14.
- Allen, J.D., Hall, L.W., Collier, R.J., Smith, J.F., 2015. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science* 98, 118-127.
- Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B., Jacobsen, B.H., 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379
- Baldacchino, F., Desquesnes, M., Mihok, S., Foil, L.D., Duvallet, G., Jittapalapong, S., 2014a. Tabanids: Neglected subjects of research, but important vectors of disease agents! *Infection, Genetics and Evolution* 28, 596-615.
- Baldacchino, F., Puech, L., Manon, S., Hertzog, L.R., Jay-Robert, P., 2014b. Biting behaviour of Tabanidae on cattle in mountainous summer pastures, Pyrenees, France, and effects of weather variables. *Bulletin of Entomological Research* 104, 471-479.
- Baumgard L.H., Rhoads R.P.Jr. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1, 311–337. doi:10.1146/annurev-animal-031412-103644
- Beard CB, Eisen RJ, Barker CM, Garofalo JF, Hahn M, Hayden M, Monaghan AJ, Ogden NH, Schramm PJ (2016). Kapitel 5: Vector-borne diseases. I: The impacts of climate change on human health in the

- United States: A scientific assessment. U.S. Global Change Research Program. <https://health2016.globalchange.gov>
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A., 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97, 471-486.
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle, *Journal of Dairy Science*, 97, 471-486, doi: 10.3168/jds.2013-6611.
- Bjerg, B., Brandt, P., Pedersen, P., Zhang, G., 2020. Sows' responses to increased heat load - A review. *J Therm Biol* 94, 102758.
- Bjerg, B., Zhang, G., Pedersen, P., Morsing, S., 2018. Effective temperature for poultry and pigs in hot climate. In: Yucel, B., Taskin, T. (Eds.), *Animal Husbandry and Nutrition*. InTechOpen, London, 19.
- Blauhut, V, Stoelzle, M, Ahopelto, L, Brunner, MI, Teutschbein, C, Wendt, DE, Akstinas, V, Bakke, SJ, Barker, LJ, Bartošová, L, Briede, A, Cammalleri, C, Kalin, KC, De Stefano, L, Fendeková, M, Finger, DC, Huysmans, M, Ivanov, M, Jaagus, J, Jakubínský, J, Krakovska, S, Laha, G, Lakatos, M, Manevski, K, Neumann Andersen, M, Nikolova, N, Osuch, M, Van Oel, P, Radeva, K, Romanowicz, RJ, Toth, E, Trnka, M, Urošev, M, Urquijo Reguera, J, Sauquet, E, Stevkov, A, Tallaksen, LM, Trofimova, I, Van Loon, AF, Van Vliet, MTH, Vidal, JP, Wanders, N, Werner, M, Willems, P & Zivković, N 2022, 'Lessons from the 2018-2019 European droughts: a collective need for unifying drought risk management', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, bind 22, nr. 6, s. 2201-2217. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2201-2022>.
- Bonde 2016. Adfærd og velfærd for søer og pattegrise. Udviklingscenter for Husdyr på Friland, Marsvej 43, 8960 Randers. <https://orprints.org/id/eprint/30005/>
- Brinch-Pedersen H, Gregersen PL, Holme I, Hebelstrup K, Hougs L, Boelt B, Petersen KK, Gylling M. 2018. Vidensyntese om nye planteforædlingsteknikker og deres effekt på dansk landbrug. In: Brinch-Pedersen H, ed, Vol. 127: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.
- Christensen, J.W., Olczak, K., Palme, R., Thodberg, K., 2018. The effect of shelter design on shelter use by Icelandic horses in the winter period. *Journal of Veterinary Behavior* 27, 47-54.
- Correa-Calderon, A., Armstrong, D., Ray, D., DeNise, S., Enns, M., Howison, C., 2004. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss Heat-Stressed dairy cows to two different cooling systems. *International Journal of Biometeorology* 48, 142-148.
- De Notaris, C., Rasmussen, J., Sørensen, P., Olesen, J.E., 2018. Nitrogen leaching: a crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 255, 1-11.
- Deichmann, MM, Andersen, MN, Thomsen, IK & Børgesen, CD 2019, 'Impacts of controlled drainage during winter on the physiology and yield of winter wheat in Denmark', *Agricultural Water Management*, bind 216, s. 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.01.013>
- Demone JJ, Wan S, Nourimand M, Hansen AE, Shu Q-y, Altosaar I. 2018. New Breeding Techniques for Greenhouse Gas (GHG) Mitigation: Plants May Express Nitrous Oxide Reductase. *Climate* 6, 80.
- Dikmen, S., Cole, J.B., Null, D.J., Hansen, P.J. 2012. Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle *J. Dairy Sci.*, 95, 3401-3405. doi:10.3168/jds.2011-4306.
- Doltra, J., Lægdsmand, M., Olesen, J.E., 2014. Impacts of projected climate change on productivity and nitrogen leaching of crop rotations in arable and pig farming systems in Denmark. *Journal of Agricultural Science* 152, 75-92.
- 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. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 30471-30485.
- Edwards-Callaway, L.N., Cramer, M.C., Cadaret, C.N., Bigler, E.J., Engle, T.E., Wagner, J.J., Clark, D.L., 2020. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *Journal of Animal Science* 99.

- Elsgaard (ed.) Adamsen, A.P.S., Møller, H.B., Winding, A., Jørgensen, U., Mortensen, E.Ø, Arthur, E., Abalos, D., Andersen, M.N., Thers, H., Sørensen, P. (2022). Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. DCA Report, In Print.
- Eysker, M., van der Aar, W.M., Boersema, J.H., Githiori, J.B., Kooyman, F.N.J., 1998. The effect of repeated moves to clean pasture on the build up of gastrointestinal nematode infections in calves. *Veterinary Parasitology* 76, 81-94.
- Fogsgaard, K.K., Gaillard, C., Christensen, M. 2017. Udegående dyrs behov for skygge i sommerperioden. *Vidensyntese DCA*, 41s.
- Fogsgaard, K.K., Bertelsen, M., Christensen, J.W., 2019. Does shelter design matter? A note on the effect of two shelter types on shelter use by cattle during winter. *Journal of Veterinary Behavior* 34, 18-21.
- Fournel S, Quillet V, Charbonneau É (2017) Practices for alleviating heat stress of dairy cows in humid continental climates: A literature review. *Animals* 7:37.
- Garner, J.B., Douglas, M., Williams, S.R.O., Wales, W.J., Marett, L.C., Digiacomio, K., Leury, B.J., Hayes, B.J., 2017. Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers. *Animal Production Science* 57, 1233-1241.
- Gaughan, J.B., Mader, T.L., Holt, S.M., Lisle, A., 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86, 226-234.
- Godyń, D. Herbut, P., Angrecka, S. 2019. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle— A review. *J. Therm. Biol.*, 79, 42-49. doi:10.1016/j.jtherbio.2018.11.011
- Gonzalez-Rivas PA, Chauhan SS, Ha Minh, Fegan N, Dunshea FR, Warner RD (2020) Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Science* 162:108025.
- Gosme, m., Dufour, I., Inurreta aguirre, h. D. & Dupraz, c. 2016. Microclimatic effect of agroforestry on diurnal temperature cycle. *3. European Agroforestry Conference (EURAF 2016)*. Montpellier, France.
- Gourdine, J.L., Riquet, J., Rosé, R., Pouillet, N., Giorgi, M., Billon, Y., Renaudeau, D., Gilbert, H. 2019. Genotype by environment interactions for performance and thermoregulation responses in growing pigs 1,2. *J Anim Sci.*, 97, 3699-3713. doi:10.1093/jas/skz245.
- Hansen, P.J. 2007. Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology*, 68, 242-249.
- Hartmann, E., Hopkins, R.J., von Brömssen, C., Dahlborn, K., 2015. 24-h sheltering behaviour of individually kept horses during Swedish summer weather. *Acta Veterinaria Scandinavica* 57, 45.
- Heidmann, T., Nielsen, J., Olesen, S. E., Christensen, B. T., & Østergaard, H. S. (2001). Ændringer i indhold af kulstof og kvælstof i dyrket jord: Resultater fra Kvadratnettet 1987-1998. (DJF rapport nr. 54. Markbrug). Danmarks JordbrugsForskning.
- Henriksen, H.J., Rosenbom, A., van der Keur, P., Olesen, J.E., Jørgensen, L.N., Kjær, J., Sonnenborg, T.O., Christensen, O.B., 2013. Prediction of climatic impacts on pesticide leaching to the aquatic environments. Danish Ministry of the Environment. Environmental Protection Agency. *Pesticide Research* no. 143.
- Herbut, P., Hoffmann, G., Angrecka, S., Godyn, D., Vieira, F.M.C., Adamczyk, K., Kupczynski, R., 2021. THE EFFECTS OF HEAT STRESS ON THE BEHAVIOUR OF DAIRY COWS - A REVIEW. *Annals of Animal Science* 21, 385-402.
- Herpin, P., Damon, M., Le Dividich, J., 2002. Development of thermoregulation and neonatal survival in pigs. *Livestock Production Science* 78, 25-45.
- Huang, T., Rong, L., Zhang, G., Brandt, P., Bjerg, B., Pedersen, P., Granath, S.W.Y., 2021b. A two-node mechanistic thermophysiological model for pigs reared in hot climates – Part 1: Physiological responses and model development. *Biosystems Engineering*.

- Huang, T., Rong, L., Zhang, G., Brandt, P., Bjerg, B., Pedersen, P., Granath, S.W.L., 2021a. A two-node mechanistic thermophysiological model for pigs reared in hot climates – Part 2: Model performance assessments. *Biosystems Engineering*.
- Huynh, T.T.T., Aarnink, A.J.A., Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.H., Canh, T.T., Spoolder, H.A.M., Kemp, B., Verstegen, M.W.A., 2005. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science* 91, 1-16.
- Huynh, T.T.T. Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A. Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.W., Kemp, B., Canh, T.T. 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities, *Journal of Animal Science*, 83, 1385–1396, doi:10.2527/2005.8361385x
- IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (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.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32.
- Jabloun, M., Schelde, K., Tao, F., Olesen, J.E., 2015. Effect of changes in temperature and precipitation in Denmark on nitrate leaching in cereal cropping systems. *European Journal of Agronomy* 62, 55-64.
- Jensen, J. L., Schjøning, P., Watts, C. W., Christensen, B. T., Peltre, C., & Munkholm, L. J. (2019). Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. *Geoderma*, 337, 834-843. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.034>
- Jensen, J. L., Schjøning, P., Watts, C. W., Christensen, B. T., Obour, P. B., & Munkholm, L. J. (2020). Soil degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability [Article]. *Geoderma*, 364, Article 114181. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114181>
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K.M., Andersen, H.E., Lauridsen, T.L., Liboriussen, L., Bekiöglu, M., Özen, A., Olesen, J.E., 2009. Climate change effects on runoff, phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environmental Quality* 38, 1930-1941.
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J.E., Audet, J., Søndergaard, M., Hoffmann, C.C., Andersen, H.E., Lauridsen, T.L., Liboriussen, L., Larsen, S.E., Bekiöglu, M., Meerhoff, M., Özen, A., Özkan, K., 2011. Climate change effects on nitrogen loading from catchment: implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia* 663, 1-21.
- Jeppsson, K.-H., Olsson, A.-C., Nasirahmadi, A., 2021a. Cooling growing/finishing pigs with showers in the slatted area: Effect on animal occupation area, pen fouling and ammonia emission. *Livestock Science* 243, 104377.
- Jeppsson, K.-H., Olsson, A.-C., Nasirahmadi, A., 2021b. Increased air velocity in the lying area improves pen hygiene and reduces ammonia emissions from houses with partly slatted pens for growing/finishing pigs. *Livestock Science* 251, 104607.
- Kahiluoto, H., Kaseva, J., Balek, J., Olesen, J.E., Ruiz-Ramos, M., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Takác, J., Ruget, F., Ferrise, R., Bezak, P., Cappellades, G., Dibari, C., Mäkinen, H., Nendel, C., Ventrella, D., Rodriguez, A., Bindi, M., Trnka, M., 2019. Decline in climate resilience of European wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116, 123-128.
- Kampen, V., Mitchell, B.W., Siegel, H.S., 1979. Thermoneutral zone of chickens as determined by measuring heat production, respiration rate, and electromyographic and electroencephalographic activity in light and dark environments and changing ambient temperatures. *The Journal of Agricultural Science* 92, 219-226.
- Kamut, M., Jezierski, T., 2014. Ecological, behavioural and economic effects of insects on grazing farm animals - A review. *Animal Science Papers and Reports* 32, 107-119.

- Kim, K. S., Seibert, J. T., Edea, Z., Graves, K. L., Kim, E. S., Keating, A. F., Baumgard, L. H., Ross, J. W., & Rothschild, M. F. 2018. Characterization of the acute heat stress response in gilts: III. Genome-wide association studies of thermotolerance traits in pigs. *Journal of animal science*, 96, 2074–2085. <https://doi.org/10.1093/jas/sky131>
- Kongsted, A. G., Nørgaard, J. V., Jensen, S. K., Lauridsen, C., Juul-Madsen, H. R., Norup, L. R., Engberg, R. M., Horsted, K. & Hermansen, J. E. (2015) Influence of genotype and feeding strategy on pig performance, plasma concentrations of micro nutrients, immune responses and faecal microbiota composition of growing-finishing pigs in a forage-based system. *Livestock Science*, 178, 263–271.
- Kristensen, K., Schelde, K., Olesen, J.E., 2011. Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. *Journal of Agricultural Science* 149, 33-47.
- Kristensen, T., Eriksen, J., Johansen, M., Weisbjerg, M.R. 2020. Management af græs og græsning i økologiske besætninger afhængig af klimatiske forhold. Aarhus Universitet. [https://pure.au.dk/portal/en/persons/troels-kristensen\(0bcc12e6-8323-497a-bf1d-7e9a8e9e9e84\)/publications/management-af-graes-og-graesning-i-oekologiske-besaetninger-afhaengig-af-klimatiske-forhold\(407de645-3134-4000-b2ad-dfc2208db513\).html](https://pure.au.dk/portal/en/persons/troels-kristensen(0bcc12e6-8323-497a-bf1d-7e9a8e9e9e84)/publications/management-af-graes-og-graesning-i-oekologiske-besaetninger-afhaengig-af-klimatiske-forhold(407de645-3134-4000-b2ad-dfc2208db513).html)
- Kumar, M., Ratwan, P., Dahiya, S.P., Nehra, A.K., 2021. Climate change and heat stress: Impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies. *Journal of Thermal Biology* 97.
- Lacetera, N., 2019. Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers* 9, 26-31.
- Luo, H., Li, X., Hu, L., Xu, W., Chu, Q., Liu, A., Guo, G., Liu, L., Brito, L.F., Wang, Y. 2021. Genomic analyses and biological validation of candidate genes for rectal temperature as an indicator of heat stress in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 104, 4441-4451, doi:10.3168/jds.2020-18725
- Madsen, M.S., Maule, C.F., McKellar, N., Olesen, J.E., Christensen, J.H. (2012) Selection of climate change scenario data for impact modelling. *Food Additives and Contaminants* 29, 1502-1513.
- Makowski, D., Asseng, S., Ewert, F., Bassu, S., Durand, J.L., Li, T., Martre, P., Adam, M., Aggarwal, P.K., Angulo, C., Baron, C., Basso, B., Bertuzzi, P., Biernath, C., Boogaard, H., Boote, K.J., Bouman, B., Bregaglio, S., Brisson, N. Buis, S., Cammarano, D., Challinor, A.J, Confalonieri, R., Conijn, J.G., Corbeels, M., Deryng, D., De Sanctis, G., Doltra, J., Fumoto, T., Gaydon, D., Gayler, S., Goldberg, R., Grant, R., Grassini P., Hatfield, J.L., Hasegawa, T., L Heng, L., Hoek, S., Hooker, J., Hunt, L.A., Ingwersen, J., Izaurrealde, R.C., Jong-schaap, R.E.E., Jones, J.W., Kemanian, R.A., Kersebaum, K.C., Kim, S.-H., Lizaso, J., Marcaida III, M., Müller, C., Nakagawa, H., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O’Leary, G.J., Olesen, J.E., Oriol, P., Os-borne, T.M., Palosuo, T., Pravia, M.V., Priesack, E., Ripoche, D., Rosenzweig, C., Ruane, A.C., F. Ruget, F., Sau, F., Semenov, M.A., Shcherbak I., Singh, B., Singh, U., Soo, H.K., Steduto, P., Stöckle, C., Stra-tonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tang, L., Tao, F., Teixeira, E.I., Thorburn, P., Timlin, D., Travasso, M., Rötter, R.P., Waha, K., Wallach, D., White, J.W., Wilkens P., Williams, J.R., Wolf, J. , Yin, X., Yoshida, H., Zhang, Z., Zhu, Y., 2015. A statistical analysis of three ensembles of crop model responses to temperature and CO2 concentration. *Agricultural and Forest Meteorology* 214-215, 483-493.
- Manevski, K., Lærke, P., Olesen, J.E., Jørgensen, U., 2018. Nitrogen balances of innovative cropping systems for feedstock production to future biorefineries. *Science of the Total Environment* 633, 372-390.
- Martin, G., Barth, K., Benoit, M., Brock, C., Destruel, M., Dumont, B., Grillot, M., Hübner, S., Magne, M.-A., Moerman, M., Mosnier, C., Parsons, D., Ronchi, B., Schanz, L., Steinmetz, L., Werne, S., Winckler, C., Primi, R., 2020. Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. *Agricultural Systems* 181, 102821.
- Mcmillan, A.M. Werf, J.H.J.V. 2007. Genetic variation in rectal temperature and its association with heat tolerance in Australian dairy cattle. *Proc. 17th Conference of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, Sep. 23–26, Armidale, New South Wales, Australia. 553-556
- Miao, Z.H., Glatz, P.C., Ru, Y.J., 2004. Review of production, husbandry and sustainability of free-range pig production systems. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 17, 1615-1634.

- Mikovits, C., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., Schönhart, M., Schaubberger, G., 2019. Impacts of global warming on confined live-stock systems for growing-fattening pigs: simulation of heat stress for 1981 to 2017 in Central Europe. *International Journal of Biometeorology* 63, 221-230.
- Milner SG, Jost M, Taketa S, Mazón ER, Himmelbach A, Oppermann M, Weise S, Knüpffer H, Basterrechea M, König P, Schüler D, Sharma R, Pasam RK, Rutten T, Guo G, Xu D, Zhang J, Herren G, Müller T, Krattinger SG, Keller B, Jiang Y, González MY, Zhao Y, Habekuß A, Färber S, Ordon F, Lange M, Börner A, Graner A, Reif JC, Scholz U, Mascher M, Stein N. 2019. Genebank genomics highlights the diversity of a global barley collec-tion. *Nature Genetics* 51, 319-326.
- Muns, R., Malmkvist, J., Larsen, M.L.V., Sørensen, D., Pedersen, L.J., 2016. High environmental temperature around farrowing induced heat stress in crated sows. *J. Anim. Sci.* 94, 377-384.
- Myer R, Bucklin R (2018) Influence of hot-humid environment on growth performance and reproduction of swine. UF/IFAS Extension, AN107, 6 pp. University of Florida (UF), Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS).
- Negron-Perez, V.M., Fausnacht, D.W., Rhoads, M.L., 2019. Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 102, 10695-10710.
- Nguyen, T.T.T., Bowman, P.J., Haile-Mariam, M., Pryce, J.E., Hayes, B.J. 2016. Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *J Dairy Sci.* 99, 2849-2862. doi: 10.3168/jds.2015-9685.
- Nielsen, A., Trolle, D., Bjerring, R., Søndergaard, M., Olesen, J.E., Janse, J.H., Mooij, Jeppesen, E. (2014). Ef-fects of climate and nutrient load on the water quality of shallow lakes assessed through ensemble model runs by PCLake. *Ecological Applications* 24, 1926-1944.
- Obour, P. B., Keller, T., Jensen, J. L., Edwards, G., Lamandé, M., Watts, C. W., Sørensen, C. G., & Munkholm, L. J. (2019). Soil water contents for tillage: A comparison of approaches and consequences for the num-ber of workable days. *Soil and Tillage Research*, 195, Article 104384. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104384>.
- Odgaard, MV, Bøcher, PK, Dalgaard, T & Svenning, J-C 2011, 'Climatic and non-climatic drivers of spatio-temporal maize-area dynamics across the northern limit for maize production: A case study from Denmark', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, bind 142, nr. 3-4, s. 291-302. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.026>.
- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Saino, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F., 2011. Impacts and adaptation of European crop pro-duction systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34, 96-112.
- Olesen, J.E., Børgesen, C.D., Elsgaard, L., Palosuo, T., Rötter, R., Skjelvåg, A.O., Peltonen-Sainio, P., Börjes-son, T., Trnka, M., Ewert, F., Siebert, S., Brisson, N., Eitzinger, J., van der Fels-Klerx, H.J., van Asselt, E. (2012). Changes in flowering and maturity time of cereals in Northern Europe under climate change. *Food Additives and Contaminants* 29, 1527-1542.
- Olesen, J.E., Niemeyer, S., Roggero, P.P., Lehtonen, H., Schönhart, M., Kipling, R. (2017) *Agriculture*. In: *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report.* EEA Report No. 1/2017. European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, p. 223-243.
- OLIVEIRA, C. C. D., ALMEIDA, R. G. D., KARVATTE JUNIOR, N., VILLELA, S. D. J., BUNGENSTAB, D. J. & ALVES, F. V. 2021. Daytime ingestive behaviour of grazing heifers under tropical silvopastoral systems: Re-sponses to shade and grazing management. *Applied Animal Behaviour Science*, 240.
- Pearce, S.C., Gabler, N.K., Ross, J.W., Escobar, J., Patience, J.F., Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., 2013. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91, 2108-2118.
- Pietrosemoli, S., Tang, C., 2020. Animal Welfare and Production Challenges Associated with Pasture Pig Systems: A Review. *Agriculture-Basel* 10.



- Plauborg, F, Hoffmann, CC, Audet, J & Skjødt, MH 2021, Designmanual for minivådområder med træflis filtermatrice baseret på MMM projektet. DCA rapport nr. 190, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. <<https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport190.pdf>>
- Polsky, L., von Keyserlingk, M.A.G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare, *Journal of Dairy Science*, 100, 8645-8657. doi:10.3168/jds.2017-12651.
- Pulido-Moncada, M., Petersen, S. O., & Munkholm, L. J. (2022). Soil compaction raises nitrous oxide emissions in managed agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00773-9>.
- Pullens, J.W.M., Sørensen, C.G., Olesen, J.E., 2021. Temperature-based prediction of harvest date in winter and spring cereals as a basis for assessing viability for growing cover crops. *Field Crops Research* 264, 108085.
- Qi, J., Jensen, J. L., Christensen, B. T., & Munkholm, L. J. (2022). Soil structural stability following decades of straw incorporation and use of ryegrass cover crops. *Geoderma*, 406, 115463. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115463>.
- Renaudeau, D., Gilbert, H., Noblet, J. 2012. Effect of climatic environment on feed efficiency in swine. In: Patience J. F., editor, *Feed efficiency in swine*. Wageningen, NL: Wageningen Academic, 183-210.
- Roepstorff, A., Monrad, J., Sehested, J., Nansen, P., 2000. Mixed grazing with sows and heifers-parasitological aspects. *Proceedings from NJF-Seminar* 303, 41-44.
- Rose, H., Wang, T., van Dijk, J., Morgan, E.R., 2015. GLOWORM-FL: A simulation model of the effects of climate and climate change on the free-living stages of gastro-intestinal nematode parasites of ruminants. *Ecological Modelling* 297, 232-245.
- Ross, J.W., Hale, B.J., Gabler, N.K., Rhoads, R.P., Keating, A.F., Baumgard, L.H., 2015. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science* 55, 1381-1390.
- Saeed, M., Abbas, G., Alagawany, M., Kamboh, A.A., Abd El-Hack, M.E., Khafaga, A.F., Chao, S., 2019. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. *Journal of Thermal Biology* 84, 414-425.
- Sanchez-Lorenzo, A., Enriquez-Alonso, A., Wild, M., Trentman, J., Vicente-Serrano, Sanchez-Romero, A., Posselt, R., Habuka, M.Z. (2017) Trends in downward surface solar radiation from satellites and groundobservations over Europe during 1983-2010. *Remote Sensing of Environment* 189,108-117.
- Schauberger, G., Schönhart, M., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S.J., Kirner, L., Mikovits, C., Baumgartner, J., Piringer, M., Knauder, W., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., 2021. Economic risk assessment by weather-related heat stress indices for confined livestock buildings: A case study for fattening pigs in Central Europe. *Agriculture (Switzerland)* 11, 1-22.
- Schild S-LA, Rangstrup-Christensen L, Bonde M, Pedersen LJ (2018) The use of a shaded area during farrowing and lactation in sows kept outdoors. *Applied Animal Behaviour Science* 209:22-29.
- Schild S-LA, Foldager L, Bonde MK, Andersen HM-L, Pedersen LJ (2019) Does hut climate matter for piglet survival in organic production? *Animal* 13:826-834.
- Schjønning, P., Heckrath, G., & Christensen, B. T. (2009). Threats to soil quality in Denmark (DJF report Plant Science No. 143).
- Schjønning, P., van den Akker, J. J. H., Keller, T., Greve, M. H., Lamandé, M., Simojoki, A., Stettler, M., Arvidsson, J., & Breuning-Madsen, H. (2015). Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) analysis and risk assessment for soil compaction-A European perspective. In *Advances in Agronomy* (Vol. 133, pp. 183-237).
- Schutz, K.E., Rogers, A.R., Cox, N.R., Webster, J.R., Tucker, C.B., 2011. Dairy cattle prefer shade over sprinklers: Effects on behavior and physiology. *Journal of Dairy Science* 94, 273-283.



- Schweitzer H, Aalto NJ, Busch W, Chat Chan DT, Chiesa M, Elvevoll EO, Gerlach R, Krause K, Mocaer K, Moran JJ, Noel JP, Patil SK, Schwab Y, Wijffels RH, Wulff A, Øvreås L, Bernstein HC. 2021. Innovating carbon-capture biotechnologies through ecosystem-inspired solutions. *One Earth* 4, 49-59
- Segnalini, M., Bernabucci, U., Vitali, A., Nardone, A., Lacetera, N., 2013. Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. *International Journal of Biometeorology* 57, 451-458.
- SEGES Landbrugsinfo (2019) 5 Gode råd mod varmemstress hos køerne. Publiceret 27. maj 2017.
- SEGES (2021) Sådan påvirker varmemstress køernes sundhed [https://www.landbrugsinfo.dk/public/4/7/e/sundhed\\_velfard\\_sadan\\_pavirker\\_varmemstress\\_sundhed](https://www.landbrugsinfo.dk/public/4/7/e/sundhed_velfard_sadan_pavirker_varmemstress_sundhed)
- SEGES (2020) Faktaark på dansk med THI-indeks - Undgå varmemstress hos køerne Landbrugsinfo 1.maj 2020. [https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/8/0/d/sundhed\\_sygdomme\\_undga\\_varmemstress\\_koer\\_sommerhalvar\\_b1\\_dk.pdf](https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/8/0/d/sundhed_sygdomme_undga_varmemstress_koer_sommerhalvar_b1_dk.pdf)
- Segnalini, M., Bernabucci, U., Vitali, A., Nardone, A., Lacetera, N., 2013. Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. *International Journal of Biometeorology* 57, 451-458.
- Sehested, J., Søegaard, K., Danielsen, V., Kristensen, V.F., 2000. Mixed grazing with sows and heifers: effects on animal performance and pasture, *Ecological Animal Husbandry in the Nordic Countries*, pp. 35-40.
- Seibert, J.T., Graves, K.L., Hale, B.J., Keating, A.F., Baumgard, L.H., Ross, J.W. 2018. Characterizing the acute heat stress response in gilts: I. Thermoregulatory and production variables. *J Anim Sci.* 2018, 96, 941-949. doi: 10.1093/jas/skx036
- Silva, B.A., Noblet, J., Oliveira, R.F., Donzele, J.L., Primot, Y., Renaudeau, D., 2009. Effects of dietary protein concentration and amino acid supplementation on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. *J. Anim. Sci.* 87, 2104-2112.
- SMITH, J., PEARCE, B. D. & WOLFE, M. S. 2012. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28, 80-92.
- Sørensen, J.T., Thomsen, R. (2017) Identification of risk factors and strategies for reducing sow mortality. DCA rapport NO. 097, pp. 35
- Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Hutchings, N.J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M., Olesen, J.E., 2014a. C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. *Ecological Modelling* 292, 11-25.
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H., Christensen, B.T., 2014b. Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils during 1986 - 2009: effects of management. *European Journal of Soil Science* 65, 730-740.
- Tajima K, Nonaka I, Higuchi K, Takusari N, Kurihara M, Takenaka A, Mitsumori M, Kajikawa H, Aminov RI (2007) Influence of high temperature and humidity on rumen bacterial diversity in Holstein heifers. *Anaerobe* 13:57-64.
- Ten Damme, L., Andersen, M.N. (2018). The gross- and net-irrigation requirements of crops and model farms with different root zone capacities at ten locations in Denmark 1990-2015. DCA report no. 112. DCA - Danish Centre for Food and Agriculture, Blichers Allé 20, PO box 50, DK-8830 Tjele. 93 pp.
- Thamsborg, S.M., Roepstorff, A., Larsen, M., 1999. Integrated and biological control of parasites in organic and conventional production systems. *Veterinary Parasitology* 84, 169-186.
- Thejll, P., Boberg, F., Schmith, T., Christiansen, B., Christensen, O.B., Madsen, M.S., Su, J., Andree, E., Olsen, S., Langen, P.L., Madsen, K.S., Olesen, M., Pedersen, R.A., Payne, M.R. (2021) Methods used in the Danish Climate Atlas. DMI Report 21-41.
- Thudi M, Palakurthi R, Schnable JC, Chitikineni A, Dreisigacker S, Mace E, Srivastava RK, Satyavathi CT, Odeny D, Tiwari VK, Lam H-M, Hong YB, Singh VK, Li G, Xu Y, Chen X, Kaila S, Nguyen H, Sivasankar

- S, Jack-son SA, Close TJ, Shubo W, Varshney RK. 2021. Genomic resources in plant breeding for sustainable agri-culture. *Journal of Plant Physiology* 257, 153351.
- Tiezzi, F., Brito, L.F., Howard, J., Huang, Y.J., Gray, K., Schwab, C., Fix, J., Maltecca, C. 2020, Genomics of Heat Tolerance in Reproductive Performance Investigated in Four Independent Maternal Lines of Pigs, *Frontiers in Genetics*, 11, 629, doi:10.3389/fgene.2020.00629
- Timilsina A, Zhang C, Pandey B, Bizimana F, Dong W, Hu C. 2020. Potential Pathway of Nitrous Oxide Formation in Plants. *Frontiers in Plant Science* 11.
- Trnka, M., Feng, S., Semenov, M.A., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Rötter, R.P., Semerádová, D., Klem, K., Huang, W., Ruiz-Ramos, M., Hlavinka, P., Meitner, J., Balek, J., Havlik, P., Büntgen, U., 2019. Mitigation efforts will not fully alleviate the increase in water scarcity occurrence probability in wheat-producing areas. *Science Advances* 5, eaau2406.
- Trolle, D., Nielsen, A., Rolighed, J., Thodsen, H., Andersen, H.E., Karlsson, I.B., Refsgaard, J.C., Olesen, J.E., Bolding, K., Kronvang, B., Søndergaard, M. & Jeppesen, E. (2015). Projecting the future ecological state of lakes in a 6 degree warming scenario. *Climate Research* 64, 55-72
- Trolle, D., Nielsen, A., Andersen, H.E., Thodsen, H., Olesen, J.E., Børgesen, C.D., Refsgaard, J.C., Sonnenborg, T.O., Karlsson, I.B., Christensen, J.P., Markager, S. & Jeppesen, E. (2019). Effects of changes in land use and climate on aquatic ecosystems: Coupling of models and decomposition of uncertainties *Science of the Total Environment* 657, 627-633.
- Tucker, C. B., Rogers, A. R., Schütz, K. E. (2008). Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* 109(2-4):141-154.
- Usala, M., Macciotta, N.P.P., Bergamaschi, M., Maltecca, C., Fix, J., Schwab, C, Shull, C, Tiezzi, F. 2021. Genetic Parameters for Tolerance to Heat Stress in Crossbred Swine Carcass Traits, *Frontiers in Genetics*, 11, 1821, doi: 10.3389/fgene.2020.612815
- VANDERMEULEN, S., RAMÍREZ-RESTREPO, C. A., BECKERS, Y., CLAESSENS, H. & BINDELLE, J. 2018a. Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Animal Production Science*, 58.
- VANDERMEULEN, S., RAMÍREZ-RESTREPO, C. A., Marche, C., Decruyenaere, V., Beckers, Y., Bindelle J., 2018b. Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. *Agroforest. Syst.* 92: 705-716
- Van laer, E., Moons, C.P.H., Sonck, B., Tuytens, F.A.M., 2014. Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates. *Livestock Science* 159, 87-101.
- Veissier, I., Van laer, E., Palme, R., Moons, C.P.H., Ampe, B., Sonck, B., Andanson, S., Tuytens, F.A.M., 2018. Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. *International Journal of Biometeorology* 62, 585-595.
- Wang, X., Gao, H., Gebremedhin, K. G., Bjerg, B. S., Van Os, J., Tucker, C. B., and Zhang, G. 2018. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC), *J. Therm. Biol.*, 76, 165-170, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.013>, 2018.
- Webber, H., Ewert, F., Olesen, J.E., Müller, S., Fronzek, S., Ruane, A., Ababaei, B., Bindi, M., Bourgault, M., Ferrise, R., Finger, R., Fodor, N., Gabaldón-Leal, C., Gaiser, R., Jabloun, M. Kersebaum, K.C., Lizaso, J.I., Lorite, I., Manceau, L., Martre, P., Moriondo, M., Nendel, C., Rodríguez, A., Ramos, M.R., Semenov, M.A., Siebert, S., Stella, T., Stratonovitch, P., Trombi, G., Wallach, D., 2018. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature Communications* 9, 4249.
- West, J.W., 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 86, 2131-2144.

- Wolc, A., Arango, J., Settar, P. Fulton, J.E., O'Sullivan, N.P., Dekkers, J.C.M. 2019. Genome wide association study for heat stress induced mortality in a white egg layer line. *Poultry Science*, 98, 92-96, doi: 10.3382/ps/pey403
- Wolfenson D, Roth Z (2019) Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers* 9:32-38.
- Zhao, J, Bindi, M, Eitzinger, J, Ferrise, R, Gaile, Z, Gobin, A, Holzkämper, A, Kersebaum, KC, Kozyra, J, Kriaučiūnienė, Z, Loit, E, Nejedlik, P, Nendel, C, Niinemets, Ü, Palosuo, T, Peltonen-Sainio, P, Potopová, V, Ruiz-Ramos, M, Reidsma, P, Rijk, B, Trnka, M, van Ittersum, MK & Olesen, JE 2022, 'Priority for climate adaptation measures in European crop production systems', *European Journal of Agronomy*, bind 138, 126516. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126516>