

Natuurlijke ijzerbronnen in de biologische varkenshouderij

Is een vervanging van ijzerinjectie door een biologisch alternatief mogelijk?

Karolien Hertogs, Joran Barbry

Inagro, Biologische Productie

Sophie Goethals, Kobe Buyse, Sam Millet

ILVO Dier



AGENTSCHAP
LANDBOUW &
ZEEVISSERIJ

ILVO

Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek

inagro 

RESEARCH & ADVICE IN AGRICULTURE & HORTICULTURE



CCBT

ondernemen in
west-vlaanderen 

Dit project werd gefinancierd door CCBT en het agentschap Landbouw en Zeevisserij. Dit project liep van 2023 t.e.m. 2024.

Inleiding

In de biologische varkenshouderij staat het verschaffen van een ijzerinjectie aan jonge biggen, zoals dat reeds jaren wordt toegepast, onder druk. Of het verschaffen van een routinematige injectie met ijzer binnen het kader van een biologische bedrijfsvoering past, valt te bediscussiëren. Dit leeft ook bij certificeringsorganisaties. Deze vragen zich luidop af of er geen alternatieven voor handen zijn. Het eerste onderzoek omtrent dit topic dateert al van jaren terug. Ook in tussentijd werd er het één en ander onderzocht. Echter steeds vanuit verschillende invalshoeken en perspectieven zonder een éénduidig antwoord. De vraag óf ijzerinjectie noodzakelijk is, welke (biologische) alternatieven er voor handen zijn, of deze voldoende perspectief bieden en welke dosissen vervolgens aangehouden moeten worden blijft hierdoor moeilijk te beantwoorden.

Met het **CCBT-project "Alternatieve ijzervoorzieningen voor biologische biggen"** willen we graag meer duidelijkheid krijgen omtrent deze vragen. Met dit project gaan we op zoek naar natuurlijke alternatieven om biologische biggen van voldoende ijzer te voorzien, zodat het toepassen van een ijzerinjectie overbodig wordt. Hiermee trachten we biologische varkenshouders handvaten aan te reiken en te ondersteunen in de zoektocht naar alternatieve ijzerbronnen waarop ze beroep kunnen doen wanneer deze wetgeving verstrengd wordt. Het doel van deze huidige studie is eveneens om na te gaan hoe opneembaar deze biologische ijzerbronnen zijn en hoe dit de gezondheid van de dieren beïnvloedt.

Om achtergrondinformatie in te winnen, en tevens de nodige inzichten te verwerven, doken we alvast in de literatuur. Alle gevonden informatie werd in deze brochure gebundeld naar aanloop van de eigenlijke dierproef, waarin enkele potentieel succesvolle ijzerbronnen binnen dit project getest zullen worden.



Via deze tekstballonnetjes nemen we u graag mee in de denkpiste en vertaalslag van deze literatuurstudie naar biologische praktijkomstandigheden.

Wij wensen u alvast veel leesplezier!

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen, in enige vorm of wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Inagro en ILVO zijn niet aansprakelijk voor de eventuele schadelijke gevolgen die zouden kunnen ontstaan bij het gebruik van de gegevens uit deze opgave.

INLEIDING.....	1
1. WAAROM WE EEN IJZERINJECTIE TOEDIENEN	3
2. OPNEEMBAARHEID VAN IJZER	4
2.1. Absorptie.....	4
2.2. Ijzervormen	4
2.3. Interactie met andere voedingsstoffen	5
3. ONDERZOEKEVOLUTIE NAAR IJZERVOORZIENINGEN.....	6
4. IJZERSTATUS VAN BIGGEN MET ONVERHARDE BUITENLOOP	7
5. IJZERALTERNATIEVEN	9
5.1. Natuurlijke, Ijzerrijke wroetmaterialen.....	9
5.2. Orale (commercieel beschikbare) supplementen	10
5.3. Naaldloze injectie	14
6. CONCLUSIE.....	15
7. REFERENTIES.....	16

1. Waarom we een ijzerinjectie toedienen

Biggen worden standaard met lage ijzerreserves geboren, wat wil zeggen dat ze afhankelijk zijn van voedingsbronnen om hun ijzervoorraden en hemoglobinewaarden op peil te houden. IJzer vormt een essentieel bestanddeel van het eiwit hemoglobine in de rode bloedcellen, wat nodig is voor een efficiënt zuurstoftransport. Hemoglobine neemt zuurstof op uit de longen en geeft het af aan de weefsels waar het een essentiële rol speelt in de celademhaling en energievoorziening. Daarnaast is ijzer ook van belang in tal van biochemische processen en betrokken bij de werking van het immuunsysteem en het maag-darm stelsel.

Naast hemoglobine, is er ook myoglobine. Eveneens een zuurstofbindend eiwit dat in grote hoeveelheden voorkomt in de spieren van gewervelde dieren. Het is een eenvoudigere vorm van hemoglobine, met dezelfde functies, namelijk zuurstoftransport. Ook hiervoor is ijzer essentieel (*Suttle, 2010*).

Tijdens de periode voor spenen neemt een big geen (of weinig) vaste voeding op en is ze volledig afhankelijk van moedermelk. Biggen komen ter wereld met een aangeboren hoeveelheid van ongeveer 50 milligram ijzer. Dat lijkt een aanzienlijke hoeveelheid, maar zeugenmelk bevat zeer weinig ijzer (< 1 mg/L), waardoor deze voorraad tijdens de lactatieperiode amper wordt aangevuld.

Wetende dat een big ongeveer 8 mg per dag aan ijzer verbruikt om voldoende hemoglobine te kunnen aanmaken, zou het zonder een extra suppletie na ongeveer 10 dagen door zijn voorraad heen zijn. Om het ijzerniveau op peil te houden zou dan ongeveer 21 mg ijzer per kg groei nodig zijn (*Braude et al., 1962; Mahan & Shields, 1998; Venn et al., 1947*). In de natuur halen biggen deze hoeveelheden uit hun omgeving (voornamelijk door in de aarde te wroeten), en doen er zich geen problemen voor (*Brown et al., 1996*). De huidige (Vlaamse) varkenshouderij, is hier echter niet op voorzien waardoor er zonder ingrijpen tekorten zouden ontstaan. Binnen de biologische varkenshouderij hebben de dieren toegang tot een buitenloop. Deze is echter veelal verhard waardoor wroetgedrag uitgesloten is.

Er werd in het verleden al eens eerder geprobeerd om het ijzergehalte in de melk te beïnvloeden via toediening van ijzer aan de zeug tijdens de dracht en/of de lactatieperiode, maar steeds met weinig succes (*Egeli et al., 1998, Wang et al., 2014, Barros et al., 2019, Mazgaj et al., 2020*).

Wanneer er een ijzertekort optreedt, vertoont de big een bleke huidskleur en een vertraagde groei ten gevolge van bloedarmoede. De prestaties gaan achteruit en de biggen kunnen niet naar behoren ontwikkelen. Het toedienen van een extra ijzerinjectie op een leeftijd van 3 tot 5 dagen is daardoor een standaardroutine binnen de kraamstalbehandelingen.



Aan de behoefte voor ijzer (op welke manier dan ook) wordt er niet getwijfeld. Maar werken (orale) alternatieven even effectief bij moderne biggen als een injectie, die al jaar en dag wordt toegepast? Is het verantwoord om hier zomaar van af te stappen? Om een antwoord te vinden op deze vraag duiken we in de fysiologie van ijzeropname.

2. Opneembaarheid van ijzer

2.1. ABSORPTIE

Het normale proces van ijzeropname (zoals de natuur het voorzien heeft) vindt plaats in de enterocyten van de dunne darm. Na orale inname van ijzer, wordt het element opgenomen door de darm met behulp van een reeks receptoren die nauwgezet gereguleerd worden door hepcidine, een peptidehormoon geproduceerd in de lever. IJzer komt op natuurlijke wijze daarom enkel in het lichaam binnen via de dunne darm. Eens het element in het dier geabsorbeerd is, circuleert het in een gesloten systeem. De enige manier om ijzer uit het lichaam te verliezen, is via bloedingen of door het natuurlijk afsterven van epitheelcellen (wat dan via feces en urine wordt uitgescheiden) (Harvey, 2008). De absorptie van ijzer is afhankelijk van leeftijd, diersoort, hoeveelheid opgeslagen ijzer, inflammatie, dracht en het type ijzer (Harvey, 2008). Verschillende fysische factoren ter hoogte van het darmstelsel bepalen de oplosbaarheid en absorptie van ijzer, zoals de pH in de maag. Een hogere pH bemoeilijkt de ijzerabsorptie (Fuqua et al., 2012).

Geïnjecteerd ijzer daarentegen wordt geabsorbeerd via de lymfe of direct in het bloed afhankelijk van de grootte van het ijzercomplex (Thorén-Tolling en Jönssen, 1977). Na injectie wordt het ijzer opgenomen door macrofagen m.b.v. het mononucleair fagocyterend systeem. Het opgeslagen ijzer wordt terug vrijgegeven in het plasma via ferroportine wanneer er ijzertekort is in het lichaam. Het vrijgekomen ijzer wordt direct gebonden aan transferrine en vervolgens getransporteerd naar het beenmerg om in te bouwen in hemoglobine (Starzynski et al., 2013).

Eenmaal ijzer in het plasma is terecht gekomen, wordt het gebonden aan transferrine dat gesynthetiseerd wordt in de lever. Na absorptie wordt meer dan de helft van het ijzer getransporteerd naar het beenmerg om in hemoglobine in te bouwen. IJzer wordt voornamelijk teruggevonden als hemoglobine, maar men kan het ook terugvinden in plasma, in myoglobine, opgeslagen in verschillende organen of ingebouwd in de weefsels om te helpen bij essentiële celfuncties (Harvey, 2008). De plaatsen waar ijzer hoofdzakelijk wordt opgeslagen zijn de lever, de milt en het beenmerg (Thorén-Tolling en Jönssen, 1977; Harvey, 2008).

2.2. IJZERVORMEN

IJzer uit voedingsbronnen komt voor in de vorm van heemijzer (dierlijk ijzer, onder de vorm van hemoglobine) en niet-heemijzer. De biobeschikbaarheid van heemijzer is veel beter dan van niet-heemijzer en is dus een belangrijke bron voor carnivoren en omnivoren (Harvey, 2008). Het goed opneembare heemijzer is echter uitsluitend aanwezig in dierlijke producten zoals vlees, gevogelte en vis. De absorptie ervan wordt weinig beïnvloed door andere componenten in het voeder (Lynch, 1997).

Minder goed opneembaar niet-heemijzer komt voor in natuurlijke grondstoffen en plantaardig voedsel. Om door het dier opgenomen te kunnen worden moet het ijzeratoom uit niet-heemijzer eerst gereduceerd worden van een trivalente naar een divalente vorm ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$) (Harvey, 2008). Niet-heemijzer is meer onderhevig aan concurrentie van andere componenten in het voeder. Hierover is meer te lezen in paragraaf 2.3 'competitie voor opname' (Lynch, 1997). Omwille van de reductiestap gaat de voorkeur uit naar een Fe^{2+} preparaat.

Organisch gebonden ijzer wordt over het algemeen beter door het lichaam opgenomen dan anorganisch ijzer. In zijn gechelateerde vorm zit ijzer gebonden aan een organisch element zoals EDTA, DTPA of EDDHA. De aminozuren in de chelaatvorm werken beschermend voor het ijzer. Hierdoor bereiken de ijzermoleculen de darm als intact element waar het vervolgens opgenomen kan worden. Grela et al. (2005) vergeleken biggenvoeder met gecheleerd ijzer en voeder met ijzersulfaat, de meest gebruikte vorm. De biobeschikbaarheid van gecheleerd ijzer was groter dan die van ijzersulfaat. Door de sterke structuur zijn maagsappen niet in staat om aminozuurchelaten af te breken. Een studie van Etle et al. (2008) daarentegen toonde vergelijkbare resultaten in ijzerverteerbaarheid tussen Fe-chelaat en Fe-sulfaat, die beiden voor 31% in het maag-darmkanaal van biggen werden afgebroken. Fe-glycinaat vertoonde, in deze studie, met 41% een nog iets hogere verteerbaarheid t.o.v. de andere twee vormen. Injecteerbare preparaten van ijzer in combinatie met dextraan (een lpolysaccharide met lange suikerketens) stellen het ijzer na injectie progressief vrij. Deze vorm wordt veelal gebruikt bij injectie (*Radostis et al., 2007*).

Ijzer(III)oxide (Fe_2O_3) is een anorganische verbinding van ijzer met zuurstof zoals die voorkomt in de grond en gesteente. Binnen de biologische veehouderij is het enkel toegestaan ijzer te verschaffen in zijn minerale (anorganische) vorm. Meer specifiek onder de vorm van ijzer(II)ca2146+rbonaat (sideriet), ijzer(II)sulfaat-monohydraat of ijzer(II)sulfaat-heptahydraat (e-mailconversatie Tüv Nord, 2023)

2.3. INTERACTIE MET ANDERE VOEDINGSSTOFFEN

Naast de vorm waarin ijzer voorkomt, kunnen ook andere mineralen en componenten die aanwezig zijn een invloed hebben op de ijzeropname van een bepaald supplement. Verschillende mineralen vertonen namelijk competitie voor opname doorheen de darmwand, omdat ze via hetzelfde systeem in het lichaam worden vervoerd en geabsorbeerd. Dit wil zeggen, hoe meer van deze kationen aanwezig zijn, hoe minder ijzer er zal worden opgenomen in de dunne darm (*Merlot et al., 2024*). Het toevoegen van calciumcarbonaat en mangaan zorgen bijvoorbeeld voor ijzerdeficiëntie en lichte anemie bij speen- en vleesvarkens. Deze effecten blijken niet aanwezig bij volwassen varkens (*Radostis et al., 2007*). Fytaten, tannines en fosfaten binden het ijzer in onoplosbare complexen die de opname ervan verhinderen (*Harvey, 2008*). Ook polyfenolen, calcium en vezels remmen de opname van ijzer (*Lynch, 1997*). Het toevoegen van fytases zorgen voor het terug vrijstellen van het element dat gebonden werd door fytaat (*Stahl et al., 1999*). Een ander element dat in competitie gaat met ijzer is zink, maar deze interactie blijkt miniem (*Lynch, 1997*). Andere voedingsstoffen, zoals vitamine C, vitamine A, foliumzuur, suikers en organische zuren kunnen de opname van ijzer verbeteren door onder andere de biologische beschikbaarheid te verhogen (door reductie van Fe^{3+} naar Fe^{2+}) en door het cheleren van ijzer, waardoor het minder gevoelig is voor interacties met remmers van ijzeropname.

Ijzersuppletie heeft ook een effect op de gehalten aan vitamine A in het lichaam, wat een belangrijke rol vervult in het onderhoud van verschillende weefsels en het gezichtsvermogen. Bij biggen geïnjecteerd met ijzer werden hogere plasmawaarden van dit vitamine genoteerd (*Schweigert et al., 2000*).

3. Onderzoeken naar ijzervoorzieningen

Een eenmalige injectie van 200 mg is vaak gehanteerd geweest, zowel in gangbare als biologische varkenshouderij. Hoeveel ijzer een big nodig heeft hangt af van de leeftijd, de groeisnelheid en de beschikbaarheid van een ijzerbron (*Svoboda en Drabek, 2005*). In het verleden werd daarom wel al eens de bedenking gemaakt of deze hoeveelheid niet opnieuw afgestemd moet worden op de huidige rassen. Samen met de genetica gaat ook de groeisnelheid en voerefficiëntie namelijk vooruit en ontstaan er steeds productievere rassen. Daarnaast wordt in de gangbare landbouw op steeds jongere leeftijd gespeend en nemen de biggen al sneller vaste voedingsstoffen op. Deze factoren kunnen dan ook een invloed hebben op de ijzerbehoefte van het dier. Wetenschappers zijn het erover eens dat de ijzerbehoefte van biggen inderdaad afhankelijk is van meerdere factoren. Nu, of deze behoefte dan juist groter of kleiner wordt door de veranderingen in genetica en voeding, is echter niet altijd even duidelijk. Het onderzoek heeft namelijk steeds op een wankele balans gestaan tussen een gevreesd tekort aan ijzer enerzijds (vanuit het idee dat snelgroeiende biggen meer ijzer nodig hebben dan dat ze kunnen opnemen) en een potentiële overdaad aan ijzer anderzijds (vanuit de gedachtegang dat een injectie er voor kan zorgen dat het big een te grote hoeveelheid ijzer in één keer te verwerken krijgt) (*Chen et al., 2019*). Professor John Arsenakis (UGent) en Prof. Van Leengoed (Utrecht), beiden verbonden aan de faculteit diergeneeskunde, gaven in 2013 al aan dat een overdaad aan ijzer potentieel een risico op intoxicatie met zich meebrengt. Ze vertellen dat bacteriën (met name *Coli*-bacteriën) ijzer immers als voedingsstof gebruiken, waardoor een overmaat aan ijzer de biggen op het moment van injectie vatbaarder zou kunnen maken voor infecties. Ook oxidatieve stress, waarbij de lichaamscellen worden beschadigd, zou een risico vormen bij een ijzeroverdaad (voornamelijk bij biggen die reeds een tekort aan vitamine E vertonen) (*Schweigert et al., 2000*). IJzer dat gedoseerd via het voeder kan opgenomen worden zou in dit opzicht dus gezonder zijn.

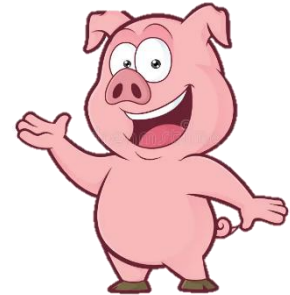
Een thesisonderzoek aan de UGent toonde aan dat intramusculaire ijzerinjectie tot betere bloedwaarden en groeiprestaties leidt dan ijzer dat via het voeder verstrekt wordt (*Buyse 2017*). Er zijn echter ook studies waarbij geen verschil werd aangetoond in bloedparameters en lichaamsgewichten tussen biggen die een orale ijzersuppletie ontvingen en biggen die een standaard ijzerinjectie kregen (*Friendship et al., 2021*). Of dit verschil te wijten is aan de dierfysiologie, de gebruikte producten of andere nevenfactoren, is tot op heden nog niet volledig duidelijk.

Aan het nut van ijzersuppletie voor biggen zonder onverharde uitloop, wordt niet getwijfeld. Nagenoeg alle studies over dit onderwerp, waarbij eveneens een controlegroep zonder ijzersuppletie wordt opgenomen, tonen duidelijke verschillen aan. In een studie van Dong et al. (2020) was de verminderde gezondheidsstatus van de controlegroep die geen ijzer ontving duidelijk aanwezig. Deze biggen vertoonden naast verlaagde bloedwaarden eveneens een slechtere metabole gezondheid en alarmerende leverwaarden.

In gangbaar onderzoek wordt momenteel bekeken of het spreiden van ijzertoepassing via injectie over verschillende dosissen een veiligere/betere optie kan zijn om intoxicatie te voorkomen, en wat dan juist de vereiste dosis en het beste tijdstip van toepassing is. De keerzijde daarvan is dan weer

het extra werk dat dit met zich meebrengt. Vanuit praktisch oogpunt lijken vele varkenshouders op te kijken tegen deze extra hantering van de biggen die daarvoor nodig is.

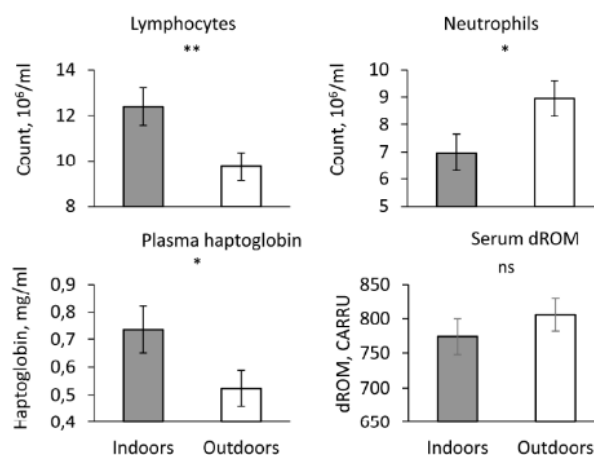
*Vanuit algemeen gezondheidsstandpunt is het wenselijk om, ook binnen de conventionele varkenshouderij, orale supplementen te kunnen inzetten die de biggen zelfstandig en meer verspreid overheen de dag kunnen opnemen.
Vanuit biologisch oogpunt is dit zeker "the way to go".*



4. IJzerstatus van biggen met onverharde buitenloop

Waar in Vlaanderen sprake is van een wijziging in wetgeving, werd in Frankrijk reeds een verbod ingevoerd op het toepassen van ijzerinjectie binnen de biologische varkenshouderij. Als reactie op deze wijzigende wetgeving heeft INRA (het nationale onderzoekscentrum voor landbouw, voeding en milieu in Frankrijk) twee opeenvolgende experimenten uitgevoerd.

In een eerste studie (*Prunier et al., 2022*) heeft men gekeken of biologische biggen met toegang tot een onverharde buitenloop eveneens last hebben van een ijzertekort. **In eerste instantie bleek uit een bevraging dat 10 op 11 bedrijven met dit systeem geen ijzersupplement verschaffen, en daarbij aangeven dat hun biggen geen tekorten vertonen.** Dit werd in het verleden ook al door andere onderzoeksgroepen aangetoond (*Brown et al., 1996; Delbor et al., 2000; Kleinbeck & McGlone, 1999*). In tweede instantie werden, naast deze praktijkbevraging, ook de effectieve bloedwaarden van biggen uit beide systemen (indoor vs. outdoor) met elkaar vergeleken.

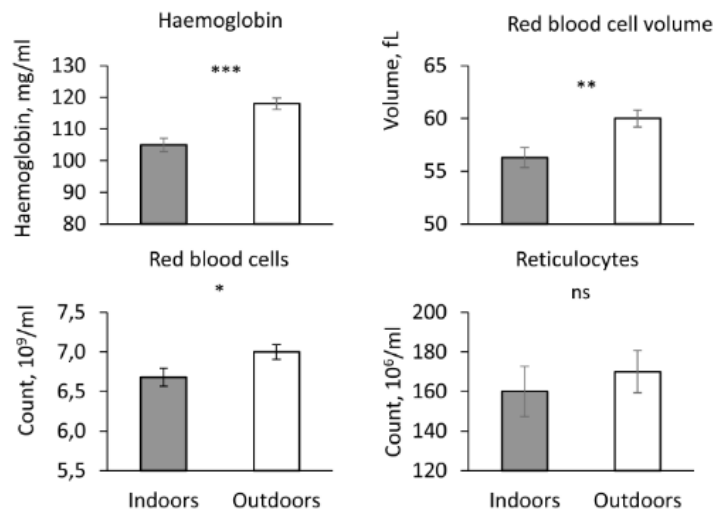


Bron: *Prunier et al., 2022*

Figuur 1: Merkers voor immuniteit en/of ontsteking bij indoor (200 mg ijzersuppletie) t.o.v. outdoor biggen (met toegang tot onverharde uitloop, die geen ijzersuppletie ontvingen). Invloed van huisvesting (indoor vs. outdoor) op het aantal lymfocyten en neutrofielen, plasma-haptoglobineconcentratie en concentratie aan serum dROM (wat de mate van oxidatieve stress in het lichaam weergeeft) (gemiddelde±SE).

** P<0.01, * P<0.05, ns P> 0.1

De 'outdoor' biggen met onverharde buitenloop, die dus doorgaans geen extra ijzersupplement hadden ontvangen, bleken betere gemiddelde hemoglobinewaarden te vertonen dan de biggen die louter indoor werden opgekweekt en wel een ijzerinjectie van 200 mg hadden ontvangen (118 t.o.v. 105 ± 2 g/L). De inflammatiestatus bij biggen buiten bleek eveneens lager in vergelijking met biggen in de stal (haptoglobinewaarde van $0,51 \pm 0,06$ t.o.v. $0,78 \pm 0,09$ g/L). Het is geweten dat ontstekingsreacties eveneens nefast zijn voor de opname van ijzer, wat een mogelijke hypothese kan zijn voor het lagere hemoglobinegehalte bij indoor biggen (*Hentze et al., 2010*).



Bron: *Prunier et al., 2022*

Figuur 2: Hematologische indicatoren bij indoor (200 mg ijzersuppletie) en outdoor biggen (geen ijzersuppletie). Invloed van huisvesting (indoor vs. outdoor) op bloed hemoglobine level, rode bloedcellen (volume en aantal) en aantal reticulocyten (gemiddelde \pm SE). *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, ns $P > 0.1$

Zeer recent vond in Scandinavië een studie plaats waarbij gekeken werd naar de invloed van het seizoen op de ijzerstatus van de biggen gehouden in een outdoor systeem. Resultaten toonden aan dat de natuurlijke ijzeropname uit de uitloop inderdaad voldoende bleek, maar dat er wel een seizoenseffect aanwezig was. Biggen geboren in de lente vertoonden significant lagere hemoglobine gehalten (maar geen tekort) tegenover biggen geboren in de herfst. Dit effect was enkel duidelijk bij de jongste biggen van drie dagen leeftijd. Op een leeftijd van 33 dagen was dit effect niet meer zichtbaar (*Fjelkner et al., 2024*).

Naast een seizoenseffect, is het waarschijnlijk dat er veel variatie is tussenpercelen op andere locaties, bodemtypes, ... Zo werden in een andere studie bij outdoor biggen die geen ijzersupplement ontvingen wel verlaagde bloedwaarden, slechtere groeiprestaties en een verhoogde mortaliteit vastgesteld (*Szabo and Bilkei, 2002*). Deze auteurs raadden daarom aan om ook biggen met toegang tot onverharde uitloop een supplement aan te bieden.

5. IJzeralternatieven

5.1. NATUURLIJKE, IJZERRIJKE WROETMATERIALEN

In de veronderstelling dat bovenstaande resultaten tot stand kwamen doordat de biggen buiten naar hartenlust in de grond kunnen wroeten, werd bij INRA een tweede experiment opgezet (*Merlot et al., 2024*). Naast een controlegroep die een ijzerinjectie (100 mg ijzerdextraan) ontving, werd een proefgroep biologische biggen constant voorzien van bedrijfseigen grond als wroetmateriaal. Een derde groep ontving een mix van turf en gesteriliseerd (lokaal) rivierslib waar ze elk moment van de dag toegang tot hadden. Deze proefopzet werd in meerdere rondes en worpen herhaald. Biggen werden gespeend op 49 dagen leeftijd. Op dag 4, 20, 41, 50 en 69 werden bloedstalen verzameld. Gewichten werden op dezelfde dagen in kaart gebracht (en dus eveneens opgevolgd tot 70 dagen leeftijd), met een extra weging op dag 11.

In deze studie was er geen verschil in gewicht/dagelijkse groei tussen de verschillende proefgroepen te bemerken. Biggen opgekweekt met **alternatieve, natuurlijke wroetmaterialen** die geen ijzerinjectie ontvingen, deden het **qua groeiprestaties niet slechter**. Uit bloedanalyses bleek wel dat biggen uit de 2^e proefgroep (bedrijfseigen grond) een significant **lager hemoglobine gehalte** vertoonden t.o.v. de twee andere groepen. Dit was het meest uitgesproken bij de meting op dag 20. Dit weerspiegelde zich eveneens in een significant lager aantal rode bloedcellen op dag 20. Bij deze groep zagen ze ook een hogere mortaliteit (32,4% ten opzichte van 15,3% en 14,7% in de andere 2 groepen), en meer diarree bij de biggen, al bleken deze verschillen niet statistisch significant te zijn en moeten we opletten met overhaaste conclusies.

Biggen uit de proefgroep die turf en rivierslib ontvingen vertoonden daarentegen betere bloedwaarden (hemoglobine en rode bloedcellen) t.o.v. de controlegroep die een ijzerinjectie ontving (van weliswaar slechts 100 mg). Daarenboven was het opvallend dat biggen die turf en rivierslib ontvingen het minst diarree vertoonden.

Deze onderzoekers concludeerden daarom dat het mogelijk lijkt om pasgeboren biggen voldoende ijzer te verstrekken door hen louter natuurlijke materialen aan te bieden. Wel viel hen in dit onderzoek op dat een hogere ijzerinhoud van een bepaald wroetmateriaal zich niet noodzakelijk vertaalde in een betere ijzerstatus bij de biggen. Uit analyses bleek namelijk dat er in de bedrijfseigen grond nagenoeg dubbel zoveel ijzer aanwezig was in vergelijking tot het rivierslib (Fe^{2+} en Fe^{3+}), zoals zichtbaar in onderstaande tabel. Toch werden met deze laatste component aanzienlijk betere resultaten behaald. Verdere analyses (zie tabel 1) toonde aan dat de hoeveelheid biobeschikbaar ijzer (de organische fractie – EDTA extraheerbaar ijzer) dan weer beduidend lager was in de gebruikte grondstalen t.o.v. het rivierslib, wat een vermoedelijke verklaring voor deze verschillen is. Louter de ijzerinhoud van een product (=zowel biobeschikbaar als onopneembaar ijzer) blijkt bijgevolg geen goede voorspeller te zijn voor de uiteindelijke absorptie bij de biggen.

Resultaten uit deze Franse studie leren ons dat het verschaffen van zuivere grond potentieel onvoldoende is om in de ijzerbehoefte te voorzien en eveneens het risico op darmproblemen kan verhogen. Of dit een risico is dat bij alle grondsoorten aanwezig is, is onduidelijk.

Tabel 1: Analyseresultaten van grondstalen (soil) en turfstalen (peat) verreikt met rivierslib

¹ Stalen werden gedroogd en vermalen (diameter <250 µm), en totale sporenelementen werden getest via MS (massaspectrometrie)

Total trace element composition of the soil and the peat distributed to the piglets.

Element	Soil	Peat
Total elements, mg/kg ¹		
Aluminium (Al ³⁺)	39.8 × 10 ³	36.7 × 10 ³
Cadmium (Cd ²⁺)	0.194	0.221
Calcium (Ca ²⁺)	2.17 × 10 ³	12.7 × 10 ³
Chrome (Cr ³⁺)	85.4	39.2
Cobalt (Co ²⁺ and Co ³⁺)	21.2	9.30
Copper (Cu ⁺ and Cu ²⁺)	13.9	15.2
Iron (Fe ²⁺ and Fe ³⁺)	49.7 × 10 ³	26.1 × 10 ³
Lead (Pb ²⁺)	48.1	62.5
Magnesium (Mg ²⁺)	1.52 × 10 ³	7.08 × 10 ³
Manganese (Mn ²⁺ and Mn ⁴⁺)	2.03 × 10 ³	743
Molybdene (Mo)	0.853	0.950
Natrium (Na ⁺)	3.15 × 10 ³	4.81 × 10 ³
Nickel (Ni ²⁺)	23.7	21.9
Phosphorus (P)	677	830
Potassium (K ⁺)	12.7 × 10 ³	9.91 × 10 ³
Thallium (Tl)	0.648	0.482
Zinc (Zn ²⁺)	69.6	113
EDTA-extractible elements, mg/kg ¹		
Copper (Cu ⁺ and Cu ²⁺)	2.92	1.51
Iron (Fe ²⁺ and Fe ³⁺)	91	1.8 × 10 ³
Manganese (Mn ²⁺ and Mn ⁴⁺)	353	523
Zinc (Zn ²⁺)	4.25	54.8

Bron: Merlot et al., 2024

5.2. ORALE (COMMERCIEEL BESCHIKBARE) SUPPLEMENTEN

Naast injectie bestaan er ook **orale ijzerpreparaten**. Deze worden in praktijk meestal toegepast om subklinisch ijzertekort tegen te gaan. Ze worden veelal verschaft ter aanvulling van een injectie, welke alvast klinische ijzertekorten moet voorkomen (*Radostis et al., 2007; Maes et al., 2011*). IJzer kan eveneens via het **drinkwater** toegediend worden, maar dit is meestal niet doeltreffend omdat de biggen hun vochtopname voornamelijk uit moedermelk halen en dus onvoldoende van het water opnemen (Zimmerman et al., 1995).

Er bestaan **pasta's en poeders** om oraal aan de biggen te verstrekken. Daarnaast bestaan er eveneens pasta's om dagelijks op de uier van de zeug te smeren om zo de biggen tijdens het zogen van extra ijzer voorzien. Onderzoek toonde aan dat hiermee evenwaardige resultaten konden bereikt worden in vergelijking met een dubbele injectie (*Maner et al., 1959; Radostis et al., 2007*). IJzerpreparaten die in praktijk op de markt beschikbaar zijn, zijn echter veelal niet toegelaten binnen biologische productie omstandigheden.

In een studie van Zhou et al., (2020) werd het effect van een oraal supplement (25 mg ijzersulfaat op dag 2, 7, 12 en 17) of een éénmalige ijzerinjectie van 100 mg ijzerdextraan op dag 2 op darmgezondheid onderzocht. Ten opzichte van een controlegroep die geen ijzer ontving, vertoonden de dieren die wel ijzer kregen duidelijk een betere darmgezondheid, ongeacht het supplement dat ze

ontvingen. Zo waren de darmvilli evenals het darmoppervlak van de jejunum duidelijk groter, en blijkt de opnamecapaciteit van de dunne darm dus algemeen beter te zijn wanneer de biggen een ijzersupplement ontvangen, zowel oraal als intramusculair.

Een recente studie uit Canada verschaft ons enige inzichten in het potentieel van verschillende ijzersupplementen. Deze onderzoekers (*Friendship et al., 2021*) zetten een proef op waarbij vier verschillende proefgroepen met elkaar vergeleken werden (Tabel 2).

- 1/ De eerste groep ontving een standaard ijzerinjectie met 200 mg gleptoferron op een leeftijd van 4 dagen.
- 2/ Een tweede groep ontving deze standaard injectie twee maal (op 4 en 14 dagen leeftijd).
- 3/ Een derde groep kreeg de injectie éénmalig op 4 dagen leeftijd toegediend, aangevuld met *ad libitum* toegang tot **turf verrijkt met ijzer¹ vanaf één week leeftijd**.
- 4/ De vierde groep ontving ook met ijzer verrijkte turf, maar in de plaats van een ijzerinjectie op 4 dagen leeftijd ontvingen zij een orale pasta (40 mg ferrofumaraat).

Bloedwaarden werden gemeten en vergeleken bij speenleeftijd (16 à 21 dagen) en staan in tabel 2 vermeld.

Uit deze studie bleek dat de beste bloedwaarden (waaronder hemoglobine- en hematocrietwaarden) bekomen werden bij de derde groep, die slechts één injectie ontving, aangevuld met ijzerrijke turf. De hemoglobinewaarden waren hoger, maar nagenoeg gelijk en niet significant verschillend van die van de 2e groep, die een dubbele ijzerinjectie ontving. Groep 1 en 4 deden het significant minder goed en vertoonden onderling geen verschillen. In deze proefgroepen vertoonden respectievelijk 27,8 % en 10,7 % van de biggen een ijzertekort. In de 3e groep (injectie + turf) was er slechts één big met een te lage hemoglobinewaarden. In groep 2 ten slotte, de groep die twee maal een injectie ontving, was er geen enkele big die een tekort vertoonde. Ook de dagelijkse groei werd in kaart gebracht, maar daarin werden geen significante verschillen gevonden tussen alle proefgroepen.

¹ Turf verrijkt met gecheleerd ijzer, 8500 mg/kg lichaamsgewicht

Tabel 2: Gemiddelde hematologische parameters van biggen op speenleeftijd (\pm standaardafwijking) overheen 4 proefgroepen m.b.t. ijzersuppletie (Bron: Friendship et al., 2021)

	Groep 1 (n = 18)	Groep 2 (n = 16)	Groep 3 (n = 56)	Groep 4 (n = 58)	P-waarde
Hemoglobine (g/l)	121.5 (\pm 20.2) ^a	131.5 (\pm 5.2) ^b	134.5 (\pm 10.5) ^b	124.5 (\pm 13.4) ^a	<0.001
Aantal rode bloedcellen (10^{12} cellen/L)	6.35 (\pm 0.7)	6.4 (\pm 0.5)	6.4 (\pm 0.6)	6.4 (\pm 0.6)	0.7
Hematocriet ratio	0.40 (\pm 0.06) ^a	0.44 (\pm 0.02) ^b	0.44 (\pm 0.03) ^b	0.42 (\pm 0.04) ^a	<0.001
Gemiddeld corpusculair volume (fL)	64 (\pm 6.3) ^a	68 (\pm 4.7) ^b	68 (\pm 3.9) ^b	65 (\pm 4.5) ^a	<0.001
Gemiddeld corpusculair hemoglobine (pg)	19 (\pm 2.3) ^a	21 (\pm 1.8) ^b	21 (\pm 1.2) ^b	19 (\pm 1.5) ^a	<0.001
Gemiddelde hemoglobine concentratie (g/l)	298.5 (\pm 10.3) ^a	305.5 (\pm 6.7) ^b	304.5 (\pm 7.2) ^b	296.0 (\pm 9.2) ^a	<0.001
Proportie en verdeling rode bloedcellen	19.8 (\pm 4.9) ^a	16.2 (\pm 0.76) ^b	16.0 (\pm 0.93) ^b	19.5 (\pm 2.9) ^a	<0.001

Groep 1 — Geïnjecteerd met 200 mg gleptoferron op 4 dagen leeftijd

Groep 2 — Geïnjecteerd met 200 mg gleptoferron op 4 en 14 dagen leeftijd

Groep 3 — Geïnjecteerd met 200 mg gleptoferron op 4 dagen leeftijd, en vrije toegang tot met ijzer verrijkte turf vanaf 1week leeftijd tot spenen

Groep 4 — 2 mL orale pasta (40 mg ijzerfumaraat) op 4 dagen leeftijd en vrije toegang tot met ijzer verrijkte turf vanaf 1week leeftijd tot spenen

^{a,b} Waarden met een verschillende letter binnen dezelfde rij zijn significant verschillend van elkaar

Dit onderzoek leert ons verschillende zaken. Ten eerste kan er geconcludeerd worden dat de **aangereikte turf evenwaardig is aan een 2^e ijzerinjectie**. Nu, binnen een biologische bedrijfsvoering is dit gecheleerd ijzer, waarmee de turf werd aangereikt, momenteel niet toegestaan. Ten tweede zien we dat orale opname via een (niet-biologische) pasta daarentegen niet evenwaardig lijkt te zijn aan een standaardinjectie. Toch niet wat betreft het gebruikte product, en eveneens niet wanneer het wordt verschaft op een leeftijd van 4 dagen. We kunnen ons de vraag stellen of louter orale opname via turf vanaf een leeftijd van 4 dagen wel zou volstaan. Helaas werd er in deze studie geen proefgroep opgenomen die louter de turf kreeg aangereikt en daarnaast geen bijkomend supplement ontving. **Deze studie suggereerde ook dat één ijzerinjectie van 200mg potentieel onvoldoende is om alle moderne (gangbare) biggen in hun ijzerbehoefte te voorzien.** Hoewel het gemiddelde hemoglobinegehalte groter is dan 110 g/L, kan één enkele injectie van 200 mg ijzer niet garanderen dat aan alle biggen hun ijzerbehoefte wordt voldaan. Dit kunnen we afleiden uit het grote aantal anemische biggen in de eerste proefgroep.

Onderzoekers van het 'Institute of organic farming (and farm animal biodiversity)' in Duitsland (en Oostenrijk) kwamen tot diezelfde conclusie tijdens hun studie omtrent deze problematiek. Dit onderzoek is één van de weinigen waarbij er specifiek op biologische biggen werd gefocust.

De hypothese luidde dat biologische biggen potentieel meer risico lopen op ijzertekort doordat deze langer aan de melk worden gehouden en later worden gespeend. De dosis die ze ontvangen zou daarom potentieel onvoldoende zijn om de langere lactatieperiode te overbruggen. In 2019 werd er daarom een studie opgezet en werd dit bevestigd (Heidbüchel et al., 2019). Dit onderzoek toont aan

dat 200 mg Fe³⁺ tijdens de eerste levensdagen niet volstaat om de groei en bloedwaarden op peil te houden. Een oraal ijzersupplement zou hierin kunnen ondersteunen.

Wij gingen alvast op zoek naar mogelijke producten, met het oog om ze aanvullend in te zetten in een biologische bedrijfsvoering. Onderstaande tabel bevat een greep aan commercieel beschikbare ijzersupplementen.

Tabel 3 *Overzicht met commercieel beschikbare producten*

*Deze tabel bevat slechts een greep aan producten die commercieel op de markt beschikbaar zijn. Wat betreft biologisch, commercieel beschikbare producten lijkt het aanbod beperkt.

Type product	Merknaam	Verdeler	Bio toegelaten?	IJzervorm	Aantal x gebruik
Oraal supplement (olie)	MS Ferroral	MS Schippers	Nee	ijzerdextraan	Éénmalig binnen 24u na geboorte
Oraal supplement (olie)	Piglets Fer	Best Farm	Nee	ijzerdextraan	2x; binnen 24u na geboorte en herhalen op dag 10
Oraal supplement (poeder)	Hemoral	Agro Logic	Nee	Mix ijzerfumaraat, ijzerchelaat, ijzersulfaat	3x tussen 4 en 12 dagen leeftijd
Oraal supplement (met ijzer verrijkte tarwezemelen)	Farmafer	Farmapro (FR)	Ja	Ijzersulfaat-monohydraat	Continu tussen 5 en 15 dagen leeftijd
Oraal supplement (droog voeder)	Fer1one (éénmalig), Agro-FER (5x), Triple-FER (3x)	ScaGro (DK)	Nee	ijzerfumaraat	Afhankelijk van product 1x (Fer1one) tot 5x (Agro-Fer) door strooisel mengen of in trog tussen 2 en 12 dagen leeftijd

5.3. NAALDLOZE INJECTIE

Naast orale ijzeralternatieven, wint sinds enige tijd ook naaldloze injectie aan belang. Voornamelijk vanuit dierenwelzijnsoogpunt. Bij deze techniek wordt het in te spuiten product onder hoge druk in de huid ingebracht en komt het vervolgens via de spier in de bloedbaan terecht. Via naaldloze injectie is er daardoor een verlaagd risico op ziekteoverdracht, wat mogelijk via een besmette naald gebeurt. Ook blijft de huidbarrière intact waardoor pathogenen uit de omgeving minder gemakkelijk kunnen binnendringen. Recent onderzoek aan de Universiteit van Utrecht (*Tobias et al., 2023*) toont aan dat er **geen significant verschil is in hemoglobinewaarden tussen intramusculaire of naaldloze injectie**. Een naaldloze injectie met 200 mg ijzerdextraan gaf gelijke hemoglobine- en hematocrietconcentraties in het bloed, in vergelijking met hetzelfde product dat in dezelfde hoeveelheden via injectie mét naald werd toegediend. Bloedwaarden werden gemeten op dag 3, 14, 26 en 40. Beide technieken blijken dus evenwaardig te zijn, althans op basis van deze studie.

Binnen de biologische varkenshouderij wordt het zoeken naar (natuurlijke) ijzerrijke middelen die enerzijds voldoende efficiënt opgenomen worden en anderzijds in voldoende mate door de biggen geconsumeerd worden. Deze middelen dienen naast biologisch, praktisch, voedselveilig en duurzaam, liefst ook nog commercieel beschikbaar én betaalbaar te zijn.



6. Conclusie

Deze literatuurstudie leert ons dat biggen die toegang hebben tot een **onverharde buitenloop geen ijzertekorten vertonen**. Ook recente studies, waarbij dit werd gevalideerd voor hedendaagse, productievere rassen, komen tot diezelfde conclusie. Wanneer het verlenen van onverharde buitenloop evenals een ijzerinjectie geen optie is, zou een oraal ijzeralternatief soelaas kunnen bieden. Verscheidene studies tonen aan dat er met het verschaffen van **orale ijzersupplementen vergelijkbare resultaten** te behalen zijn als met injectie. Het is echter wel aangewezen de **bloedwaarden van de biggen nauwlettend in het oog te houden**, aangezien niet alle studies unaniem in dezelfde richting wijzen. Naast de bloedwaarden, is aandacht voor de algemene gezondheidsstatus van de biggen belangrijk. **Verlaagde hemoglobinewaarden blijken namelijk niet stevast een correcte voorspeller te zijn voor verminderde (groei)prestaties**.

Het is eveneens nog niet duidelijk in kaart gebracht welke orale producten het beste zijn. Daarbovenop zijn er momenteel zeer weinig supplementen op de markt beschikbaar die toegelaten zijn binnen de biologische wetgeving. Verder blijkt de **totale ijzerinhoud van een product weinig inzicht te verschaffen in zijn potentieel** als ijzeralternatief. De vorm waarin ijzer voorkomt (en zijn biologische beschikbaarheid) speelt hierin hoogstwaarschijnlijk een belangrijker rol, maar ook daarover is er nog te weinig geweten en dient er meer onderzoek te gebeuren.

Indien orale toediening met biologisch toegestane middelen onvoldoende blijkt te zijn, biedt ook **naaldloze injectie enig perspectief**. Dit lost het probleem echter slechts gedeeltelijk op. De behandeling wordt op die manier wel diervriendelijker en benadert daardoor meer een biologische aanpak. Het te gebruiken product blijft echter wel hetzelfde en is niet van biologische oorsprong. Daarnaast wordt het eveneens op één enkel tijdstip toegediend met het risico op een foute dosering.

7. Referenties

- Barros CA, Pascoal LAF, Watanabe PH, Martins TDD, Andrade TS, Ribeiro JES. (2019). *Dietary iron chelate for sows and effects on iron supplementation in piglets*. Acad Bras Cienc.; 91: 4.
- Braude R, Chamberlain AG, Kotarbinska M, Mitchell KG. (1962). *The metabolism of iron in piglets given labelled iron either orally or by injection*. Br J Nutr.; 16: 427–449.
- Brown JME, Edwards SA, Smith WJ, Thompson E, Duncan J.(1996). *Welfare and production implications of teeth clipping and iron injection of piglets in outdoor systems in Scotland*. Prev Vet Med.; 27(3–4): 95–105.
- Buyse, K. (2017). *Ijzersupplementatie aan neonatale biggen: effect van verschillende strategieën op gezondheid en productie*
- Chen X, Zhang X, Zhao J, Tang X, Wang F, Du H. (2019), *Split iron supplementation is beneficial for newborn piglets*. Biomed Pharmacother.; 120:109479.
- Delbor C, Beaudeau F, Berger F. (2000). *Production implications of teeth clipping and iron injection of piglets born in outdoor systems*. Journées de la Recherche Porcine en France.; 32: 129–134.
- Dong Z., Wan D., Li G, Zhang Y, Yang H, Wu X, Yin Y. (2020). *Comparison of Oral and Parenteral Iron Administration on Iron Homeostasis, Oxidative and Immune Status in Anemic Neonatal Pigs*. Biol Trace Elem Res; 195, 117–124.
- Dong Z, Wan D, Yang H, Li G, Zhang Y, Zhou X, Wu X, Yin Y. (2020). *Effects of Iron Deficiency on Serum Metabolome, Hepatic Histology, and Function in Neonatal Piglets*. Animals (Basel); 10(8):1353
- Egeli A.K., Framstad T., (1998), *Effect of an oral starter dose of iron on haematology and weight gain in piglets having voluntary access to glutamic acid-chelated iron solution*, Acta Veterinaria Scandinavica; 39(3), 359-65.
- Ettle T, Schlegel P, Roth FX. (2008). *Investigations on iron bioavailability of different sources and supply levels in piglets*. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl); 92(1):35-43
- Fjellkner J, Sannö A, Emanuelson U. (2024). *Iron status in piglets at three days of age and at weaning and possible seasonal effects on the blood haemoglobin levels in a Swedish outdoor pig-producing farm*. Acta Vet Scand.; Mar 19;66(1):13.
- Fuqua B.K., Vulpe C.D., Anderson G.J., (2012), *intestinal iron absorption, journal of trace elements in medicine and biology*, 26, 115-119.
- Friendship R, Seip V, Amezcua R. (2021). *A comparison of 4 iron supplementation protocols to protect suckling piglets from anemia*. Can Vet J.; Jan;62(1):55-58.
- Grela E.R., Czech A., Kanczugowska B., Zerrahn J.,(2005), *Efficacy of iron additive in sulphate or chelate form in piglet diet.*, Ann. Anim. Sci., 5(2), 357-364.
- Harvey J.W., (2008) *Iron metabolism and its disorders*, Clinical biochemistry of domestic animals; 6th edition, 259-285.
- Heidbüchel K, Raabe J, Baldinger L, Hagmüller W, Bussemas R. (2019). *One Iron Injection Is Not Enough-Iron Status and Growth of Suckling Piglets on an Organic Farm*. Animals (Basel); Sep 4;9(9):651.
- Hentze MW, Muckenthaler MU, Galy B, Camaschella C., (2010). *Two to Tango: Regulation of Mammalian Iron Metabolism*. Cell.; 142(1): 24–38.
- Kleinbeck SN, McGlone JJ. (1999). *Intensive indoor versus outdoor swine production systems: Genotype and supplemental iron effects on blood hemoglobin and selected immune measures in young pigs*. J Anim Sci.; 77(9): 2384–2390.
- Lynch S.R., (1997), *Interaction of iron with other nutrients*, nutrition reviews, 55(4),102- 110

- Maes D., Steyaert M., Vanderhaeghe C., Lopez Rodriguez A., de Jong E., Del Pozo Sacristán R., Vangroenweghe F., Dewulf J., (2011). *Comparison of oral versus parenteral iron supplementation on the health and productivity of piglets*. The Veterinary record, 168(7), 188
- Mahan DC, Watts MR, St-Pierre N. (2009), *Macro- and micromineral composition of fetal pigs and their accretion rates during fetal development*. J Anim Sci.; 87(9): 2823–2832
- Mahan D.C., Schields R.G.Jr, (1998), *Macro- and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight*, J. of Anim. Sci.; 76(2), 506-512.
- Maner J.H., Pond W.G., Lowrey R.S. (1956). *Effect of method and level of iron administration on growth, hemoglobin and hematocrit of suckling pigs*, J. Anim. Sci.; 18(4), 1373-1377.
- Mazgaj R, Szudzik M, Lipiński P, Jończy A, Smuda E, Kamyczek M, Cieślak B, Swinkels D, Lenartowicz M, Starzyński RR. (2020). *Effect of Oral Supplementation of Healthy Pregnant Sows with Sucrosomial Ferric Pyrophosphate on Maternal Iron Status and Hepatic Iron Stores in Newborn Piglets*. Animals (Basel).; Jun 29;10(7):1113.
- Merlot E., Clouard, C., Resmond R., Robert C., Ferchaud S., en Prunier A. (2024). *Effects of natural oral alternatives to parental iron supplementation on haematological and health-related blood parameters of organic piglets*. Animal 9, 101194.
- Middelkoop A., Costermans N., Kemp B. en Bolhuis J.E. (2019). *Feed intake of the sow and playful creep feeding of piglets influence piglet behavior and performance before and after weaning*. Scientific Reports Nature Research ; 9, 16140.
- Prunier A., Leblanc-Maridor M., Pauwels M., Jaillardon L., Belloc C., Merlot E. (2022). *Evaluation of the potential benefits of iron supplementation in organic pig farming*. Open Research Europe, 14367
- Radostis O.M., Blood D.C., Gay C.C. (2007), *iron deficiency*. Veterinary medicine; 10th edition, 1725-1729.
- Schweigert F.J., Güttler H., Baumane A., Wahren M., Leo M., (2000), *Effect of iron supplementation on plasma levels of vitamin A, E en C in piglets*, Livestock Production Science; 63, 297 – 302.
- Shah GA, Shah GM, Rashid MI, Groot JCJ, Traore B, Lantinga EA. (2018). *Bedding additives reduce ammonia emission and improve crop N uptake after soil application of solid cattle manure*. J Environ Manage.; Mar 1; 209:195-204.
- Stahl C.H., Han Y.M., Roneker K.R., House W.A., Lei X.G., (1999), *Phytase improves iron bioavailability for hemoglobin synthesis in young pigs*, Journal of animal science, 77(8), 2135-2142.
- Starzynski R.R., Laarakkers C.M.M., Tjalsma H., Swinkels D.W., Pieszka M., Stys A., Mickiewicz M., Lipinski P., (2013), *Iron supplementation in suckling piglets: how to correct iron deficiency anemia without affecting plasma hepcidin levels*, PLoS ONE, 8(5), e64022
- Suttle N. (2010). *Iron*. Mineral nutrition of livestock. 4th edition, 334-354.
- Svoboda M., Drabek J., (2005), *Iron deficiency in suckling piglets: etiology, clinical aspects and diagnosis (a review)*, Folia Veterinaria, 49(2), 104-111.
- Szabo P, Bilkei G. (2002). *Iron deficiency in outdoor pig production*. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med.; Sep;49(7):390-1.
- Tobias TJ, Vernooij JCM, van Nes A. (2023). *Comparison of efficacy of needle-free injection versus injection by needle for iron supplementation of piglets: a double blind randomized controlled trial*. Porcine Health Manag.; Jan 16;9(1):2.
- Thorén-Tolling K., Jönsson L., (1977), *Cellular distribution of orally and intramuscularly administered iron dextran in newborn piglets*, Ca, J. Comp. Med.; 41, 318- 325.
- Venn JA, McCance RA, Widdowson EM (1947). *Iron Metabolism in Piglet*. Anaemia. J Comp Pathol Ther.; 57(4): 314–325.

Wang J., Li D., Che L., Lin Y., Fang Z., Xu S., Wu D., (2014), *Influence of organic iron complex on sow reproductive performance and iron status of nursing pigs*, *Livestock Science*; 160, 89-96

Zhou J, Dong Z, Wan D, Wang Q, Haung J, Huang P, Li Y, Ding X, Li J, Yang H, Yin Y. (2020). *Effects of iron on intestinal development and epithelial maturation of suckling piglets*. *J Anim Sci.*; Aug 1;98(8):skaa213.

Zimmermann W. (1995). *Auswirkungen diverser Anämieprophylaxeformen auf die Blutparameter der Saugferkel [Effects of different anemia prevention forms on the blood parameters of the suckling piglet]*. *Dtsch Tierarztl Wochenschr.*; Jan;102(1):32-8.