



Studie zum digitalen Auslaufjournal

Auftraggeber	B. Belk, BLW
Projektleiter	S. Schönenberger, D. Morand, BLW (bis Ende März 2020), S. Hasler (ab Anfang April 2020)
Autoren	S. Schönenberger, D. Morand (bis März 2020), S. Hasler (ab April 2020), (alle BLW)
Externe Autoren (Experten)	Thibault Kuntzer, Stefan Rieder (beide Identitas, Varianten 2 + 3) Felix Adrion, Christina Umstätter (beide Agroscope, Variante 1) Jürg Guggisberg (Barto, Variante 4)
Klassifizierung	Nicht klassifiziert
Status	Abgeschlossen

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	4
2	Situationsanalyse	4
2.1	Stakeholder	4
2.2	Produkte / IT-Systeme	5
2.3	Kontextdiagramm	5
3	Ziele	6
4	Strategiebezug und Umsetzung von Vorgaben	6
4.1	Strategiebezug	6
4.2	Umsetzung von Vorgaben und Rahmenbedingungen	6
5	Grobanforderungen	7
5.1	Funktionale Anforderungen	7
6	Lösungsvarianten	8
6.1	Variantenübersicht	8
6.2	Variante 1 (RFID-Systeme passiv)	9
6.2.1	Beschreibung	9
6.2.2	Verbindung	10
6.2.3	Processing / Speicher	12
6.2.4	Energie	12
6.2.5	Identifizierung	12
6.2.6	Lokalisierung	13
6.2.7	Grafische Benutzeroberfläche (GUI)	13

6.2.8	Datenschutz	14
6.2.9	Kosten	14
6.2.10	Akzeptanz	15
6.2.11	Machbarkeit.....	15
6.2.12	internationale Erfahrungen	19
6.2.13	weitere relevante Informationen	20
6.2.14	Vor- und Nachteile.....	21
6.2.15	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	21
6.3	Variante 2 (Smart Tags, aktive Systeme)	22
6.3.1	Beschreibung	22
6.3.2	Lokalisierung	23
6.3.3	Sensoren.....	25
6.3.4	Algorithmen, Processing und Speicher.....	27
6.3.5	Verbindung.....	29
6.3.6	Energie.....	31
6.3.7	Identifizierung.....	32
6.3.8	Grafische Benutzeroberfläche (GUI).....	33
6.3.9	Datenschutz	35
6.3.10	Kontrollierbarkeit	37
6.3.11	Kosten	38
6.3.12	internationale Erfahrungen	39
6.3.13	weitere relevante Informationen	40
6.3.14	Akzeptanz	40
6.3.15	Machbarkeit.....	41
6.3.16	Vor- und Nachteile.....	43
6.3.17	Allfällige Notwendigkeit eines Pilotprojektes	43
6.3.18	Umsetzung	44
6.3.19	Empfehlungen	45
6.4	Variante 3 (Image Analysis)	46
6.4.1	Beschreibung	46
6.4.2	Lokalisierung	46
6.4.3	Sensoren.....	48
6.4.4	Algorithmen, Processing und Speicher.....	50
6.4.5	Verbindung.....	52
6.4.6	Energie.....	53
6.4.7	Identifizierung.....	53
6.4.8	Grafische Benutzeroberfläche (GUI).....	53
6.4.9	Datenschutz	53
6.4.10	Kontrollierbarkeit	54
6.4.11	Kosten	54
6.4.12	Kosten beim Entwickler, technisch	54
6.4.13	Kosten für den Bauer	55
6.4.14	Internationale Erfahrungen	55
6.4.15	weitere relevante Informationen	55
6.4.16	Akzeptanz	55
6.4.17	Machbarkeit.....	56
6.4.18	Vor- und Nachteile.....	58
6.4.19	Allfällige Notwendigkeit eines Pilotprojektes	58
6.4.20	Umsetzung	58
6.4.21	Empfehlung	59
6.5	Variante 4 (Weiterentwicklung teilautomatisches System, Barto)	60
6.5.1	Beschreibung	60
6.5.2	Verbindung.....	62
6.5.3	Processing / Speicher	63
6.5.4	Energie.....	63
6.5.5	Identifizierung.....	63

6.5.6	Lokalisierung	63
6.5.7	Grafische Benutzeroberfläche (GUI).....	63
6.5.8	Datenschutz / Datenfreigabe	64
6.5.9	Kosten	64
6.5.10	Akzeptanz, Anzahl Nutzer	64
6.5.11	Wirtschaftliche Machbarkeit.....	65
6.5.12	Kosten für den technischen Betrieb	65
6.5.13	Notwendigkeit eines Pilotprojektes	65
6.5.14	Kontrollierbarkeit	65
6.5.15	Zeitliche und rechtliche Machbarkeit, Machbarkeit Datenflüsse.....	65
6.5.16	Datenflüsse	66
6.5.17	internationale Erfahrungen	66
6.5.18	weitere relevante Informationen	66
6.5.19	Vor- und Nachteile.....	66
6.5.20	Anforderungen an das Bundesamt für Landwirtschaft	67
7	Analyse der Varianten.....	67
8	Bewertung der Technologien	68
8.1	Bewertung der Technologien 1 bis 5 durch Projektleitung auf Basis der Aussagen der Experten	68
8.2	Bewertung der Technologie 6 (teilautomatisiertes elektronisches Auslaufjournal)	71
8.3	Schlussfolgerungen durch Projektleitung auf Basis der Aussagen der Experten.....	72
9	Empfehlung der Experten	73
10	Beschreibung des Pilotprojekts	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.1	Stand Vorabklärung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.2	Teilprojekt 1 (Tierversuch).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.3	Teilprojekt 2.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.4	Zeitplan	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.5	Kosten	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.6	Finanzierung Pilotprojekt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.7	Risiken	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10.8	Ausblick Forschungsvorhaben.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11	Beurteilung und Empfehlung Projektleitung BLW	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Ausgangslage

Im Rahmen der Produktionssystembeiträge unterstützt der Bund den regelmässigen Auslauf im Freien von landwirtschaftlichen Nutztieren (RAUS) mit Beiträgen. Als Nachweis gegenüber der Kontrolle muss der Landwirt den Auslauf in einem Auslaufjournal dokumentieren.

Diese Dokumentation ist für einige Landwirte eine lästige administrative Bürde. Für die Kontrolle ist die Glaubwürdigkeit des Auslaufjournals schwierig zu überprüfen und gibt regelmässig Anlass zu Diskussionen und auch zu Rechtsfällen. Es gibt bereits elektronische Versionen von Auslaufjournals, welche jedoch immer noch manuell ausgefüllt werden müssen.

Es ist davon auszugehen, dass heutzutage Technologien zur Verfügung stehen, welche eine vollständige Digitalisierung ermöglichen (z.B. via elektronische Ohrmarken, Halsbänder oder Chips). Bei den Schafen wurden im Jahr 2020 elektronische Ohrmarken eingeführt. Es ist vorauszusehen, dass sich die Systeme schnell weiter entwickeln werden, zum Beispiel auch bei der Entgegennahme der Tiere in Schlachtbetrieben.

Es soll deshalb geprüft werden, ob und wie eine vollständig digitalisierte Version eines Auslaufjournals bei Tieren der Rindergattung eingeführt werden kann, nicht ohne die Ausdehnung auf weitere Tierarten aus den Augen zu lassen. Eine digitalisierte Aufzeichnung des Auslaufs erleichtert die Administration für die Landwirte und verbessert die Glaubwürdigkeit der Dokumentation.

2 Situationsanalyse

2.1 Stakeholder

Wichtigste Aufgaben / Leistungen in Zusammenhang mit dem digitalisierten Auslaufjournal:

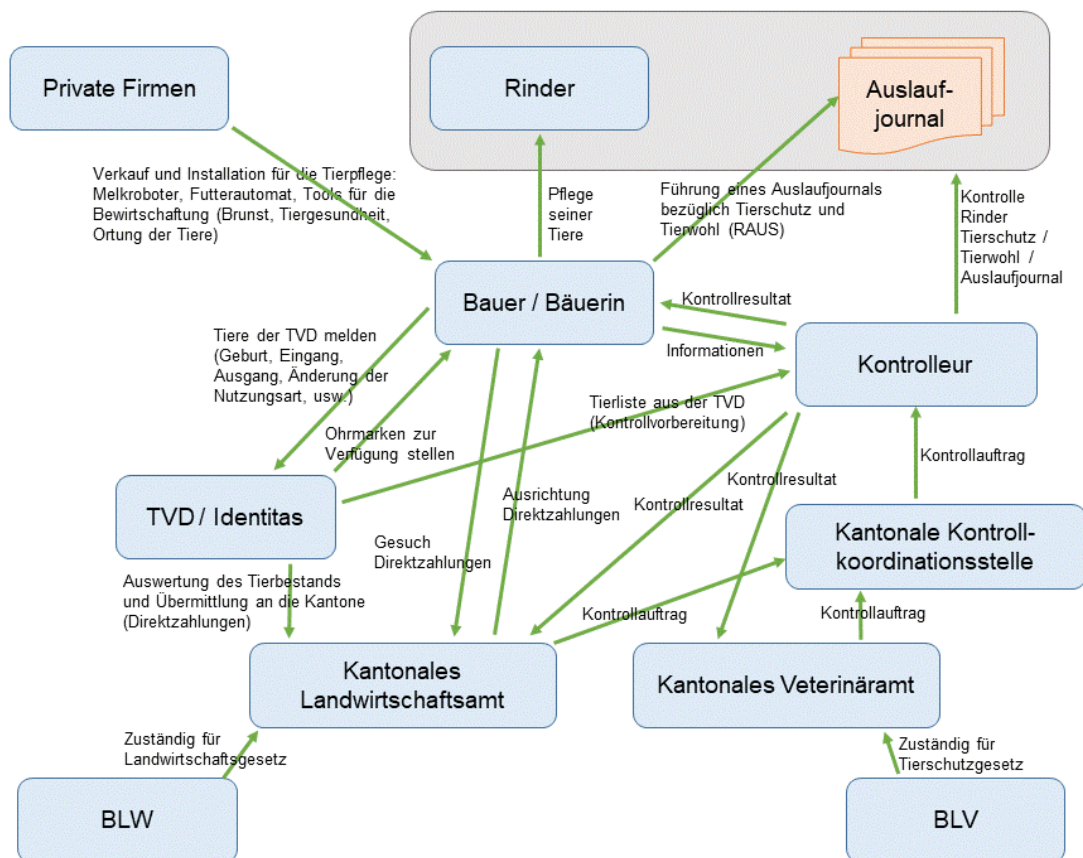
Akteure	Aufgaben / Leistungen
<i>Tierhalterin / Tierhalter</i>	<i>Führung eines Auslaufjournals bezüglich Tierschutz und Tierwohl (RAUS); Tiermeldungen an die TVD (Geburt, Zugang, Abgang, Änderung Nutzungsart, usw.)</i>
<i>Private Firmen</i>	<i>Anlagen für die Tierbetreuung: Melkroboter, Futterautomat, Tools für Bewirtschaftung (Brunst, Tiergesundheit, Ortung der Tiere)</i>
<i>Identitas</i>	<i>Betreiberin der TVD; Erfassung aller Rinder und Tierbewegungen Ohrmarken zur Verfügung stellen Auswertung des Tierbestands und Übermittlung an die Kantone (Direktzahlungen)</i>
<i>Kontrollorganisation / Kontrolleur</i>	<i>Kontrolliert die Anforderungen Tierschutz / Tierwohl (RAUS) Benutzt Tierlisten aus der TVD (Vorbereitung kurz vor der Kontrolle eines Betriebs)</i>
<i>Kantonales Veterinäramt</i>	<i>Vollzug Tierschutz</i>
<i>Kantonales Landwirtschaftsamt</i>	<i>Vollzug Direktzahlungen / Vollzug Betriebsanerkennungen</i>
<i>Kantonale Kontrollkoordinationsstelle</i>	<i>Zuständig für die Kontrollkoordination</i>

Akteure	Aufgaben / Leistungen
BLW	Auftraggeber TVD / Zuständig für Landwirtschaftsgesetz (DZV, inkl RAUS)
BLV	Zuständig für Tierschutzgesetz

2.2 Produkte / IT-Systeme

Beschreibung	Erläuterung
Ohrmarke	Bei jedem Rind: bisherige Allflex-Ohrmarken
PC / Smartphone	Auf dem Betrieb oder beim Tierhalter. Meldung der Tierinformationen an die TVD.
Tierverkehrsdatenbank (TVD)	Bei Identitas
Kantonales Informationssystem	Gelan / Agricola / Lawis / Acorda / SAP Kt VS
AGIS	BLW
Kontrollsystem	Beim Kontrolleur: Kontrollformular oder Tablet
Acontrol	BLW

2.3 Kontextdiagramm



3 Ziele

Das BLW will im Rahmen eines Projekts abklären, wie die Landwirte und Landwirtinnen künftig ein vollständig digitalisiertes Auslaufjournal nutzen können.

Ein derartiges digitales Auslaufjournal:

- dient als Nachweis gegenüber der Kontrolle von Tierschutz-, Tierwohl- und privaten Labelanforderungen;
- muss in einer ersten zeitlichen Phase einfach, praktikabel, aber funktionell ausbaubar sein;
- muss von Landwirten und Landwirtinnen akzeptiert werden;
- muss finanziell für die Landwirte und Landwirte tragbar sein;
- Gibt einen Anstoss für eine weitere Digitalisierung der Administration bei Landwirten, bei Kontrollen und bei den Direktzahlungen.

4 Strategiebezug und Umsetzung von Vorgaben

4.1 Strategiebezug

Das digitale Auslaufjournal ist ein Projekt innerhalb der Digitalisierungsprojekte des BLW und leistet einen Beitrag zur Umsetzung der E-Government-Strategie.

4.2 Umsetzung von Vorgaben und Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen Phase Initialisierung:

- Anwendung von HERMES
- Die Phase Initialisierung wird mit den bestehenden, BLW-internen personellen Ressourcen durchgeführt. Für das Einholen von technischen Informationen für die Studie ist ein Kostendach für 4-5 kleinere Beratungsmandaten à 2-4 Tage vorgesehen.
- Da die Tierschutzvorschriften bei angebundenem Rindvieh ein Auslaufjournal verlangen, wird das BLV strategisch in das Projekt eingebunden.
- Die Herausforderung ist nicht in erster Linie die Erstellung eines Auslaufjournals, sondern vielmehr die Technologie, welche die Daten für das Auslaufjournal sendet, empfängt und an ein Gerät zur Aufzeichnung weiterleitet. Der Bund soll weder ein derartiges System entwickeln noch als Instrument zur Verfügung stellen. Der Bund soll lediglich als Katalysator fungieren, um eine derartige Technologie bei der Einführung voranzutreiben, zu unterstützen und als Vollzugsinstrument zu fördern.

5 Grobanforderungen

5.1 Funktionale Anforderungen

ID	Anforderung	Anf.-Art (G,F,Q,S,M, A,B) ¹	Abnahmekriterium	Wichtig- keit 5-1 ²	Dringlich- keit 5-1 ³
1	Unmittelbar oder kurzfristig automatische Aufzeichnung im Journal, welches elektronisch einsehbar ist (Option Printout) / Unterscheidung im Stall – unter freiem Himmel	F		5	5
2	Option Print-Out	F		3	4
3	Einfache Übersicht für Einhaltung Tierschutz und Einhaltung RAUS (Sichtbarkeit für 90x pro Jahr, 60x in Vegetationsperiode, 30x im Winterhalbjahr, 26x pro Monat / 13x pro Monat)	F		4	5
4	Feststellen der Tierkategorie (9 Rindviehkategorien)	F		2	2
5	Unterscheidung Laufhof – Weide	F		4	4
6	Zeitdauer im Laufhof / auf der Weide	F		1	2
7	Jedes Einzeltier kann angezeigt werden	F		4	5
8	Möglichkeiten für Feststellen des Futterverzehrs (25%-TS-Regel)	F		1	1
9	Auswählbare mögliche Ausnahmen* von der Weide und / oder für den Laufhof, welche einfach dargestellt werden (sowohl zur Auswahl als auch zur Auswertung)	F		5	5

* mögliche Ausnahmen sind:

- Ausnahmen für Laufhof anstatt Weide:
 - o Während oder nach starkem Niederschlag (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.5. Bst. a)
 - o im Frühjahr, solange die Vegetation standortbedingt noch keinen Weidegang erlaubt (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.5. Bst. b)
 - o während der ersten zehn Tage der Galtzeit (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.5. Bst. c)
- Allgemeine Ausnahmen von Weide und Laufhof (Haltung im Stall):
 - o Behördlicher Erlass (Art. 72 Abs. 4)
 - o Befristete schriftliche Therapieanordnung eines Tierarztes oder einer Tierärztin (Art. 72 Abs. 4)

¹ Anf.-Art = Anforderungsart: G = Geschäftsorganisation, F = Funktional, Q = Qualität, S = Sicherheit, M = Migration, A = Architektur, B = Betrieb

² Wichtigkeit: 5 = muss zwingend umgesetzt werden; 4 = sehr wichtig, 3 = wichtig, 2 = weniger wichtig, 1 = könnte weggelassen werden

³ Dringlichkeit: 5 = muss gemäss Termin zwingend umgesetzt sein, 4 = Termineinhaltung ist sehr wichtig, 2 = weniger wichtig, 1 = nicht wichtig

- Seuchenpolizeiliche Vorschriften (Art. 107 Abs. 2)
- Krankheit oder Verletzung lässt keine Weide zu (Anh. 6 Bst. B Ziff. 1.8)
- Krankheit oder Verletzung lässt keinen Auslauf zu (Anh. 6 Bst. B Ziff. 1.8)
- 10 Tage vor dem voraussichtlichen Geburtstermin (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.3. Bst. a)
- 10 Tage nach der Geburt (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.3. Bst. a)
- Vor einem Transport während maximal 2 Tagen (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.3. Bst. c)
- Abweichende Regelung durch Kanton im Frühjahr, solange die Vegetation standortbedingt noch keinen Weidegang erlaubt, wenn einem Betrieb im Berggebiet keine geeignete Auslaufläche zur Verfügung steht (Anh. 6 Bst. B Ziff. 2.6)

Als minimale Anforderung gilt die aktuelle Papierversion des Auslaufjournals, siehe www.ag-ridea.ch > Übersicht > Tierhaltung > Rinder. Der Inhalt der aktuellen Papierversion soll als Synthese für den Kontrolleur vorhanden sein. Diese Synthese kann mit Detailangaben ergänzt werden.

6 Lösungsvarianten

6.1 Variantenübersicht

Variante	Bezeichnung
Variante 1	<i>RFID passiv⁴ plus Antenne (LF- oder UHF-RFID)</i> <i>Ohrmarke mit Transponder, ohne Batterie (analog heute Schafe), kombiniert mit einem Stalltor / Weidetor (z.B. Lely).</i> <i>Diese Variante wird durch Agroscope Tänikon (F. Adrion) beschrieben.</i>
Variante 2	<i>Smart Ear Tag (aktive Systeme)</i> <i>Ohrmarke mit aktiven⁵ Systemen wie z.B. Smartbow, inkl. Batterie, 2.4 Gigahertz-Signal. Lokalisierungschips in der Ohrmarke (Eartag) senden so genannte Blinks (kurze Sendeimpulse) an Basisstationen (Empfänger) im Stall oder auf der Weide. Aus den Daten von mehreren Empfängern errechnet der Algorithmus die genaue Position der Ohrmarke.</i> <i>Diese Variante wird durch Identitas (T. Kuntzer, S. Rieder) beschrieben.</i>
Variante 3	<i>Video-Überwachung und Bild-Analyse</i> <i>Diese Variante wird durch Identitas (T. Kuntzer, S. Rieder) beschrieben.</i>
Variante 4	<i>Weiterentwicklung eines teilautomatischen Systems (Barto)</i> <i>Diese Variante wird durch Barto (J. Guggisberg) beschrieben.</i>
Variante 5	<i>«Wait&Look» für neue Indikatoren aus den Varianten 1 bis 4</i>

⁴ Passive Systeme senden selber keine Signale aus und benötigen deshalb keine Energiequelle

⁵ Aktive Systeme senden Signale aus und benötigen dazu eine Energiequelle, z.B. Batterien

6.2 Variante 1 (RFID-Systeme passiv)

6.2.1 Beschreibung

Radiofrequenz-Identifikationssysteme (RFID-Systeme) sind heute in vielen Bereichen des Alltags zu finden und bieten eine einfache Möglichkeit mit einem Transponder ausgestattete Gegenstände, Personen oder Tiere an definierten Orten, häufig an Toren oder Durchgängen zu identifizieren. Es werden RFID-Systeme im Niedrigfrequenzbereich (Tieridentifikation: 134,2 kHz, low-frequency, LF, ISO 11784 und 11785 konform), Hochfrequenzbereich (13,56 MHz, high-frequency, HF) und Ultrahochfrequenzbereich (860-960 MHz, ultra-high frequency, UHF) eingesetzt. Diese Frequenzen unterscheiden sich in den physikalischen Eigenschaften der Datenübertragung, der Erkennungsreichweite, der Datenübertragung an sich, der Gestaltung und Funktionalität der Hardware und somit auch in den üblichen Einsatzgebieten. LF-RFID wird schon seit über 20 Jahren für die elektronische Tiererkennung genutzt, ist deshalb etabliert, weltweit standardisiert (ISO 11784 und 11785) und es ist eine grosse Zahl an verschiedenen Transpondern auf dem Markt (Ohrmarke, Halsband, Bolus, Fussband). Die Erfassungssicherheit ist bei LF-Systemen sehr hoch, allerdings ist die Lesereichweite eingeschränkt (< 1 m) und es kann jeweils nur ein Transponder zu einem Zeitpunkt ausgelesen werden. Bisher nur in wenigen Forschungsarbeiten in der Tierhaltung genutzt wurden HF-RFID-Systeme. In diesem Bereich findet für die Tierhaltung kaum bzw. gar keine Entwicklungsarbeit statt. Aus diesem Grund kann dieser Frequenzbereich für diese Studie im Vorhinein ausgeschlossen werden. Seit ca. 10 Jahren verstärkt im Fokus als neue Erkennungstechnologie für die Tierhaltung ist hingegen UHF-RFID. Diese Systeme werden bisher vor allem in der Logistik eingesetzt und bieten den Vorteil einer hohen Lesereichweite von bis zu 12 m im Optimalfall und die Möglichkeit mehrere Hundert Transponder quasi gleichzeitig zu erkennen. Einige Forschungsprojekte haben sich mit der Nutzung dieser Technologie für die Tieridentifikation beschäftigt und auch bei den Transponder- und Ohrmarkenherstellern besteht ein hohes Interesse. Da jedoch die Erfassungssicherheit von UHF-Transpondern aufgrund der starken Beeinflussung der Transponder durch Metall, Wasser und somit auch durch den Körper des Tieres stark variieren kann, ist bisher ein Durchbruch am Markt nicht erfolgt.

Für detaillierte Beschreibungen und Vergleiche der unterschiedlichen RFID-Frequenzen im Hinblick auf ihre Nutzung in der Tierhaltung sei auf folgende ausgewählte Arbeiten verwiesen:

Adrion, Felix (2018): Adaption and assessment of a UHF-RFID system for livestock management. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart. FORSCHUNGSBERICHT AGRAR-TECHNIK des Fachausschusses Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI Nr. 592. Abrufbar unter: http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2018/1458/pdf/Diss_Adrion_Felix.pdf

Brown-Brandl, T.M., Adrion, F., Maselyne, J., Kapun, A., Hessel, E.F., Saeys, W., Van Nuffel, A., Gallmann, E. (2019): A Review of Passive Radio Frequency Identification Systems for Animal Monitoring in Livestock Facilities. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 35(4), pp. 579-591. <https://doi.org/10.13031/aea.12928>

Hammer, Nora (2017): Evaluation of a UHF RFID system for livestock. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart. FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK des Fachausschusses Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI Nr. 582. Abrufbar unter: http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2017/1370/pdf/Diss_Hammer_Nora.pdf

Konkret würde eine Variante des Auslaufjournales mit passivem RFID-System im Wesentlichen aus einem oder mehreren Toren bestehen, an denen die Tiere beim Verlassen und Betreten des Stallgebäudes von einer RFID-Antenne identifiziert würden. Vorzugsweise sollte

der Transponder mit einer Ohrmarke am Tier angebracht sein. Solche Systeme sind im LF-Bereich bereits für Rinder am Markt (elektronische Sortier- und Weidetore), im UHF-Bereich gibt es solche Anwendungen in vielfältigen Ausführungen im Logistikbereich (bspw. Ein- und Ausgänge an Lagern), die auf eine Nutzung in der Tierhaltung angepasst werden könnten.

Diese RFID-Tore generieren im Wesentlichen eine Liste von Erkennungen der Transponder inklusive eines dazugehörigen Zeitstempels. Bei LF-RFID-Systemen ist mit wenigen Ausnahmen eine Vereinzelung der Tiere nötig, bei UHF-Systemen nicht unbedingt. Jedoch besteht bei UHF-Systemen das Risiko, Tiere im Umfeld der Antennen ungewollt zu erfassen. Die Richtung des Durchganges lässt sich nur sehr schwer erfassen. Sollten die Tiere vereinzelt werden, lässt sich die Richtung des Durchganges entweder durch ein Doppeltor (Hin- und Rückweg), oder mind. zwei hintereinandergeschaltete Antennen in einem kurzen Triebweg ermitteln. Es sind Varianten ohne Durchgangssperre denkbar, bei denen die Tiere das Tor frei passieren können. Eine andere Variante wäre die Installation von Toren, die nur bei erfolgreicher Erkennung eines Tieres öffnen und die Tiere einzeln, getrennt voneinander passieren lassen.

Durch ein RFID-gesteuertes Tor zum Aussenbereich könnten in jedem Fall Daten mit Zeitpunkten des Verlassens und Betretens des Stallgebäudes generiert werden. Die Nutzung weiterer RFID-Reader im Stall (z.B. in Melkstand oder Fütterung) ist eine Möglichkeit, weitere Erkennungs-/Validierungspunkte zu ergänzen.

6.2.2 Verbindung

Passive RFID-Systeme zeichnen sich unabhängig des genutzten Frequenzbereiches durch folgende wesentliche Bestandteile aus:

- 1) Lesegerät (engl. Reader) mit einer internen oder externen Antenne zur drahtlosen Energieübertragung auf den Transponder und zur Kommunikation mit dem Transponder, die im Wesentlichen dem Auslesen der Identifikationsnummer (ID) des Transponders dient.
- 2) Transponder (bspw. in Ohrmarke integriert), der über einen Chip zur Datenverarbeitung und Speicherung (v.a. der ID, aber bei UHF-RFID auch freier Speicher für Daten vorhanden) und ebenfalls über eine Antenne zur Energieaufnahme und Datenübertragung verfügt, aber batterieelos ist und nur über die Strahlung der Lesegerätantenne mit Energie versorgt wird.
- 3) Datenverarbeitungssystem zur Aufzeichnung der Transpondererkenntnisse, die aus der ID und einem Zeitstempel bestehen, inklusive nachgelagerter Anwendungen und Datenbank zur Verarbeitung, Speicherung und Weitergabe dieser Informationen.

Folgende Verbindungen und Schnittstellen sind in solch einem System zu bedenken:

- **Verbindung Reader – Datenverarbeitungssystem:**
Diese Schnittstelle ist hardwareseitig durch das Lesegerät vorgegeben. In den meisten Fällen sind dies serielle USB- oder (heute nur noch selten) RS-232-Schnittstellen, Bluetoothschnittstellen oder Bussysteme wie RS-485 oder Ethernet, die dann auch das Datenaustauschprotokoll vorgeben. Softwareseitig gibt auch der Readerhersteller vor, wie die Kommunikation wie die Daten vom Reader ausgelesen werden können. Häufig sind Software-Developmentkits vorzufinden, die einem Entwickler recht einfach ermöglichen von einem Rechner bzw. einer Software eine Verbindung zum Reader aufzubauen.
- **Verbindung Reader – Antenne:**
Dies ist eine reine Hardwareschnittstelle und wird über Koaxialkabel hergestellt. Hierbei ist zu beachten, dass Energieverluste auftreten, die proportional zur Länge des

Kabeln sind. Das bedeutet, dass Antennen, die in grosser Entfernung vom Reader montiert werden, weniger Energie für das Auslesen des Transponders erhalten.

- **Verbindung Antenne – Transponder:**

Dies ist die sogenannte Luftschnittstelle des RFID-Systems. Diese ist durch internationale Normen vorgegeben und für jeden Frequenzbereich definiert. Es gibt strikte Obergrenzen für die Leistung, die auf einer bestimmten Frequenz übertragen werden darf. Die Einhaltung der Normen wird durch den Hersteller des Readers sichergestellt, sofern die Region für die Nutzung korrekt gewählt ist und geeignete Antennen genutzt werden. Die Luftschnittstelle erfüllt drei Funktionen: Übertragung der Energie zur Aktivierung des Transponders, Übertragung von Kommandos und Daten vom Reader zum Transponder, Übertragung von Daten vom Transponder zum Reader (im Wesentlichen die ID).

Die Luftschnittstelle weist zwischen LF-Systemen und UHF-Systemen einen grundlegenden Unterschied auf. Bei LF-Systemen wird die Energie auf den Transponder durch induktive Kopplung der Transponder- und der Readerantenne übertragen. Die Transponderantenne koppelt sich hierbei in das Magnetfeld der Readerantenne ein. Bei UHF-Systemen findet die Datenübertragung hingegen über elektromagnetische Wellen im Fernfeld (remote coupling) statt. Die Energieübertragung zum Transponder (downlink) ist der limitierende Faktor für die Lesereichweite der Systeme im UHF-Bereich. Im LF-Bereich limitiert die Ausdehnung des Magnetfeldes der Readerantenne die Lesereichweite. Eine Vergrösserung der Antenne erhöht hier somit die Lesereichweite. Der Transponder hat einen geringeren Einfluss auf die Reichweite. Innerhalb der möglichen Reichweite werden LF-Transponder sehr sicher von der Antenne erfasst. Da Wasser im LF-Frequenzbereich kaum Energie absorbiert, hemmt auch das Ohrgehör die Energie- und Datenübertragung nicht. So kann die Ohrmarke beispielsweise auch hinter dem Ohr ausgelesen werden. Im UHF-Frequenzbereich absorbiert Wasser hingegen Strahlung recht stark. Zudem beeinflusst das Ohrgehör die elektromagnetischen Eigenschaften des Transponders, so dass dieser entsprechend angepasst sein muss. Dies ist für die Entwicklung von UHF-Transponderohrmarken eine besondere Herausforderung. Es kann je nach Stellung der Ohrmarke zum Ohr und des Ohres zur Readerantenne immer wieder zu Positionen kommen, in denen der Transponder nicht ausgelesen werden kann. Eine Vergrösserung der UHF-Transponderantenne verbessert deren Energieaufnahme jedoch im Allgemeinen, so dass mit Hilfe moderner, sehr sensibler Transponderchips und einem Transponder in Grösse einer regulären Ohrmarke für die gesetzliche Tierkennzeichnung von Rindern in der Regel eine recht hohe Erfassungssicherheit erreicht werden kann. Für Details zur Anpassung von UHF-Transpondern an die Nutzung in der Nähe von Körpergewebe und mögliche Einschränkungen der Lesbarkeit sei nochmals auf die in Abschnitt 6.3.1 angegebene Literatur verwiesen.

- **Schnittstelle Software für Datenaufnahme – lokale Datenbank:**

Aufgrund der in unterschiedlicher Qualität vorliegenden und eventuell zeitweise unterbrochenen Internetverbindung auf den Betrieben ist die Zwischenspeicherung der Tierbewegungen auf einer lokalen Datenbank sinnvoll. Für die Übertragung der Daten aus der Software, die den Reader ansteuert und die Daten vom Reader empfängt, muss somit eine Schnittstelle zur lokalen Datenbank programmiert werden. Es besteht eventuell die Möglichkeit bei bereits vorhandenen RFID-gesteuerten Selektionstoren am Ausgang zur Weide die Erkennungsdaten direkt aus dem verbundenen Herdenmanagementsystem zu entnehmen. Hierfür muss entsprechend eine Schnittstelle von diesem Herdenmanagementsystem zur lokalen Datenbank des digitalen Auslaufjournals programmiert werden. Dies erfordert eine enge Absprache und Kooperationsbereitschaft des Unternehmens, das das Herdenmanagementsystem betreibt. Eventuell könnte zukünftig bei der Nutzung von Barto/365Farmnet durch den Landwirt diese Schnittstelle standardisiert über Barto verfügbar gemacht werden.

Dies trifft selbstverständlich auch auf andere Anbieter von integrierender Plattformsoftware zu.

- **Schnittstelle lokale Nutzersoftware – lokale Datenbank:**

Um manuelle Eintragungen des Landwirts, beispielsweise Ausnahmen für Einzeltiere, zu ermöglichen, muss eine lokale Nutzersoftware vorhanden sein, die manuelle Ergänzungen und Änderungen der Daten in definiertem Rahmen ermöglicht. Hierzu ist eine Schnittstelle zwischen der Nutzersoftware und der lokalen Datenbank notwendig. Gegebenenfalls kann diese Software ein Teil der Software sein, die die Kommunikation mit dem Lesegerät übernimmt.

- **Schnittstelle lokale Datenbank – Verwaltung:**

Die genauen Vorgaben und bereits existierenden Strukturen der Datenübertragung zwischen lokalen Datenbanken auf Betrieben, der TVD (Identitas) und Kontrollinstanzen der kantonalen und Bundesverwaltung entziehen sich im Detail unserer Kenntnis. Grundlegend sind folgende Übertragungen nötig: Abgleiche/Übertragung des aktuellen Tierbestandes des Betriebes in der TVD an die Datenbank auf dem Betrieb, Einlesen der automatischen Erfassungen der Weide-/Auslaufbesuche und manuellen Eintragungen des Landwirts in Datensysteme der Identitas, Auswertung und Übertragung der Daten an Kontrollinstanzen.

6.2.3 Processing / Speicher

An folgenden Orten müssen für die Verwendung eines RFID-basierten Auslaufjournals Daten verarbeitet/gespeichert werden:

- **Transponder-Chip:** Optional, nur bei UHF-RFID möglich: (Zwischen-)Speicherung von Daten auf dem Transponder, beispielsweise Zeiten der Tordurchgänge; allerdings ist ein regelmässiger Abgleich mit der lokalen Datenbank nötig.
- **Lokale Datenbank auf dem Betrieb:** hier werden die Tierbewegungen bis zur Freigabe durch den Landwirt, ggf. auch mit längerer Historie, gespeichert.
- **Zentrale Datenbank:** Für alle digitalen Lösungen des Auslaufjournals zentral aufzubauende Datenbank, ggf. angegliedert an vorhandene Datenbanken, wie bspw. die Tierverkehrsdatenbank (TVD) der Identitas.

6.2.4 Energie

Der Energieverbrauch des Gesamtsystems setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- RFID-Reader auf jedem Betrieb: typischerweise im Bereich von 12-24 W; Standby-Betrieb möglich mit gezielter Aktivierung vor dem Durchtrieb der Tiere.
- Computer/Server zum Betrieb der lokalen Software und Datenbank auf jedem Betrieb: je nach Anforderungen und Ausgestaltung sehr variabler Energieverbrauch; vorzugsweise kompakte Variante der Software/Datenbank für vorhandenen Betriebscomputer, so dass kaum zusätzlicher Energiebedarf entsteht.
- Server zum Betrieb der zentralen Datenbank: Energieverbrauch abhängig vom aufkommenden Datenvolumen und der Anzahl der Zugriffe.

6.2.5 Identifizierung

Bei der Nutzung eines RFID-basierten Auslaufjournals wird jedes Tier eindeutig durch einen Transponder identifiziert. Vorzugsweise wird dieser Transponder in Form einer Ohrmarke am Tier angebracht, um die Fälschungssicherheit zu erhöhen. Vorteil der Nutzung von RFID für

das digitale Auslaufjournal wäre die eindeutige Identifizierung der Tiere und damit Kontrolle des Auslaufjournalen auf Einzeltierebene. Durch Verknüpfung mit der TVD könnte so eine konsistente Zuordnung von Daten zu den Tieren eines Betriebes erfolgen.

Bei der Verwendung von LF-RFID-Technologie können am Markt vorhandene Kombi-Ohrmarken verwendet werden, die die gesetzeskonforme visuelle Kennzeichnung der Tiere und gleichzeitig die elektronische Kennzeichnung der Tiere ermöglichen. Durch die offizielle Nummerierung der Transponder durch die Identitas bzw. den Ohrmarkenlieferanten wäre in diesem Fall die Übereinstimmung mit den Tiernummern in der TVD sichergestellt. Bei LF-RFID ist zwischen Full-duplex (FDX) und Half-duplex (HDX) Transpondern zu unterscheiden. Die HDX-Transponder sind etwas teurer, bieten allerdings eine höhere Erfassungssicherheit, FDX-Transponder bieten hingegen eine höhere Erfassungsgeschwindigkeit. Hier sollte die Variante verwendet werden, die langfristig für die offizielle elektronische Kennzeichnung von Nutztieren verwendet werden soll, um Synergien mit der verpflichtenden Tierkennzeichnung zu ermöglichen.

Bei der Verwendung von UHF-RFID wäre entweder eine entsprechende Nummerierung der Ohrmarken nach den gesetzlichen Standards notwendig, oder jedes Tier muss eine eigens für das Auslaufjournal erstellte Nummer erhalten. Momentan sind noch keine Ohrmarken für die gesetzeskonforme Kennzeichnung von Rindern erhältlich, die auch einen UHF-RFID-Transponder enthalten. Hierfür wäre die gemeinsame Entwicklung zusammen mit einem Ohrmarkenhersteller notwendig. Die bekannten Hersteller experimentieren allerdings alle bereits mit UHF-RFID. Ansonsten müsste den Tieren eine zusätzliche UHF-Ohrmarke für die Nutzung des Auslaufjournalen eingezeichnet werden.

Für eine einwandfreie Identifizierung der Tiere mit einem LF-Transponder ist sicherzustellen, dass es nicht zu Störungen der Erkennung durch möglicherweise schon vorhandene Transponder im Hals- oder Fussband der Tiere kommt. Hierfür wären ggf. Tests notwendig, oder andernfalls können diese Transponder auch direkt für die Identifizierung der Tiere für das Auslaufjournal genutzt werden, sofern dies rechtlich möglich ist. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass diese Transponder leicht von Tier zu Tier getauscht werden können und es bei Tierabgängen notwendig ist, den Transponder einem neuen Tier zuzuordnen, was die Fehleranfälligkeit erhöht. Eine gegenseitige Störung von LF- und UHF-Systemen ist nicht zu erwarten, falls diese parallel betrieben werden müssten.

6.2.6 Lokalisierung

Durch die Aufstellung der RFID-Antennen an definierten Orten findet in RFID-Systemen in gewisser Masse eine Lokalisierung der Tiere statt, indem die Zeit des Durchgangs durch das Tor gespeichert wird. Mit einem Identifizierungsort können so zwei Bereiche voneinander getrennt werden. Bei Toren mit einer Vereinzelung der Tiere (bei LF-Systemen zwingend notwendig) ist die Lokalisierung hierbei etwas präziser und auch die Feststellung der Durchgangsrichtung einfacher, als bei Toren, die die Tiere in Gruppen passieren, was bei UHF-RFID möglich wäre.

Bei UHF-RFID ist auch eine Lokalisierung im eigentlichen Sinne möglich. Es sind spezielle Reader erhältlich, die einen gewissen Erkennungsbereich über das sogenannte Beam-Forming «scannen» und so auch Transponder verfolgen können. Diese Technik ist noch in der Weiterentwicklung, aber wird bspw. im Einzelhandel bereits eingesetzt. Die Kosten sind hierbei allerdings höher, als bei konventionellen UHF-Readern.

6.2.7 Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Für den Betrieb eines RFID-basierten digitalen Auslaufjournalen wären im Wesentlichen drei grafische Benutzeroberflächen notwendig.

Zwei Oberflächen wären in der lokalen Software auf dem Betrieb zu integrieren. Hiervon wäre eine Oberfläche für die Steuerung und Konfiguration des Readers und der Software notwendig. Diese Oberfläche kann bei Anbindung auf dem Markt befindlicher RFID-Tore je nach Anbieter unterschiedlich gestaltet sein und je nach Notwendigkeit der Konfiguration des Tores auch nur zur Überwachung gewisser Schnittstellenparameter dienen. Bei grundlegendem Neuaufbau eines RFID-Tores für das digitale Auslaufjournal sind eventuell umfangreichere Konfigurationsmöglichkeiten vorzusehen. Dies lässt sich nur mit konkreten Varianten genauer angeben.

Eine zweite Oberfläche wäre für die Überwachung, Ergänzung und Freigabe der Daten durch den Landwirt notwendig. Hier müssen die Übernahme von Daten zu Tieren und Tiergruppen aus der TVD und/oder dem Herdenmanagementsystem, die Kontrolle von Erfassungen von Tieren und Tiergruppen, das Hinzufügen von Ausnahmen und Kommentaren sowie die Freigabe der Daten für die Übertragung in die zentrale Datenbank möglich sein.

Die dritte Benutzeroberfläche wäre eine Datenschnittstelle zur zentralen Datenbank, die es Kontrolleuren und der Bundesverwaltung ermöglicht, die Daten auf einzelnen Betrieben zu prüfen, ggf. die Kontrolle des Auslaufjournals durchzuführen und digital die Korrektheit zu bescheinigen oder bei Nicht-Einhaltung Mängel zu dokumentieren. Diese Funktionen können und sollten teilweise automatisiert werden, um das Potential eines digitalen Auslaufjournals zu nutzen. Die überbetriebliche, ggf. regionale und nationale Auswertung der Daten zur quantitativen Betrachtung von Tierzahlen und der Auslaufnutzung sowie zur quantitativen und qualitativen Betrachtung der Erfüllung der Auflagen sollte entweder in dieser GUI oder über anderweitig vorgefertigte Datenbankabfragen möglich sein.

6.2.8 Datenschutz

Die Details der notwendigen Vorkehrungen zum Datenschutz liegen ausserhalb unserer Expertise. Wichtige Punkte, die aus unserer Sicht zu beachten sind, sind folgende:

- Die Freigabe der Daten zur Auslaufnutzung durch den Landwirt ist unbedingt notwendig vor Weiterleitung an die zentrale Datenbank, da kein automatisches System perfekt ist und Fehler sonst ungeprüft übertragen würden.
- Die Ausgestaltung der Möglichkeiten zur Änderung/Korrektur und Ergänzung von Daten der Auslaufnutzung durch den Landwirt muss genau definiert und darf in der Software durch den Benutzer nicht änderbar sein.
- Die Datenweitergabe zwischen lokaler und zentraler Datenbank sollte verschlüsselt erfolgen, um externe Zugriffe zu vermeiden und personen- bzw. betriebsbezogene Daten zu schützen.
- Die Vergabe von Rechten zur Einsicht und Prüfung der Daten in der zentralen Datenbank muss rechtlich abgesichert sein.
- Die Art der Daten, die in die zentrale Datenbank übermittelt werden, muss festgelegt werden. Entweder werden alle Daten an das zentrale System weitergeleitet oder nur aggregierte und deshalb stärker anonymisierte Daten (anonymisiert in Bezug auf Tiere, nicht aber auf Tierhalter) werden an das zentrale System weitergeleitet. In letzterer Variante muss das lokale System die Daten vorverarbeiten.

6.2.9 Kosten

Die Kosten für ein RFID-basiertes digitales Auslaufjournal sind ohne das Vorliegen detaillierter Anforderungen und Umsetzungsvarianten nur begrenzt abschätzbar. Für den Landwirtschaftlichen Betrieb werden die Kosten für Hard- und Software voraussichtlich im Bereich von 2'000 bis 10'000 CHF liegen. Die Kosten für Entwicklung der Software und Datenbanken ist kaum abschätzbar, liegen erfahrungsgemäss aber im fünf-, eher sechsstelligen Bereich für solch ein Projekt. Die Personalkosten für ein Pilotprojekt liegen im sechsstelligen Bereich.

Es sollte darauf hingewiesen werden, dass solch ein System auch für das Herdenmanagement einen zusätzlichen Wert haben könnte, da mit RFID-Systemen auch weitere Dokumentationsaufgaben, die Sortierung von Tieren und weitere Tätigkeiten im Betrieb erledigt werden können. In diesem Kontext könnten die Kosten dann aus ökonomischer Sicht zu rechtfertigen sein.

6.2.10 Akzeptanz

Die Akzeptanz für ein digitales Auslaufjournal im Allgemeinen und auch eine Lösung mit RFID im Speziellen hängt aus unserer Sicht von mehreren Faktoren ab:

Wichtigster Punkt ist zunächst die Funktionalität des Systems. Wenn der Aufwand für den Betrieb nicht niedriger ist als bei manueller Aufzeichnung der Daten, ist die Attraktivität für die Betriebe gering. Sowohl die Bedienung und Wartung der Hard- und Software sollten einfach sein. Für die Hardware sollte möglichst keine regelmässige Wartung nötig sein, was bei heute auf dem Markt befindlichen RFID-Toren meist gegeben ist. Für die Software ist eine einfache und automatisierte Updatelösung zu realisieren. Zudem ist die Bedienung intuitiv und einfach zu halten.

Der zweite wichtige Punkt im Hinblick auf die Akzeptanz sind die Investitions- und Installationskosten, die für den Landwirt anfallen. Diese müssen in einem Rahmen sein, so dass sie mittelfristig sowohl durch die Direktzahlungen im RAUS-Programm gedeckt werden, als auch durch eine Zeitersparnis bei der Führung des Auslaufjournals. Gegebenenfalls wäre eine teilweise Deckung der Kosten durch direkte Fördermittel für die Nutzung des digitalen Auslaufjournals notwendig.

6.2.11 Machbarkeit

6.2.11.1 Wirtschaftliche Machbarkeit

- Kosten für den Landwirt (ca. 40 Kühe, Ohrmarken, Antennen, Geräte, Informatik, Unterhaltskosten)
 - Ohrmarken: HDX-Ohrmarken (LF, ISO-konform): ca. 7 CHF/Stück, in grösseren Stückzahlen günstiger, für 40 Tiere max. 300 CHF; UHF-Ohrmarken werden in ähnlichem Rahmen liegen, vermutlich etwas günstiger, sind bisher kaum auf dem Markt erhältlich und nicht ISO-konform; FDX-Ohrmarken (LF, ISO-konform) sind ebenfalls günstiger; LF-Ohrmarken sind als Kombi-Ohrmarken für visuelle und elektronische Identifizierung erhältlich.
 - Antennen: Herkömmliche LF- und UHF-Antennen liegen meist im Preisbereich von 200-500 CHF; pro Tor wären 1-4 anzubringen; gesamt: 200 bis 2'000 CHF
 - Reader: LF-Reader: ca. 600-1'000 CHF, UHF-Reader ca. 1'500 bis 3'000 CHF; es sind Antennenmultiplexer erhältlich, so dass bei Toren, die nicht zu weit auseinanderliegen (UHF < 20 m, LF grössere Entfernung möglich), ein Reader mehrere Tore abdecken kann.
 - Alternativ: komplettes Tor inkl. LF-RFID-Antenne und Reader (Sortiertore, Weidetore mit LF-RFID, ISO-konform) gängiger Anbieter von Stalltechnik, ca. 4'000-10'000 CHF, je nach Ausstattung; für das Auslaufjournal wären Tore mit freiem Durchlauf bzw. mit Ein-Weg-Selektion (Zutritt ja/nein) ausreichend
 - Unterhalt Hardware: im Normalfall kaum Wartungskosten, Nutzungsdauer > 10 Jahre.

- Software: Preis kann vorab nicht angegeben werden, da dieser sehr stark vom Funktionsumfang abhängig ist.
- Unterhalt Software: Abonnementmodell zum Erhalt von Updates vorstellbar, Preis vorab nicht schätzbar.
- Kosten bei Identitas:
Zu den bei Identitas anfallenden Kosten können keine exakten Angaben gemacht werden. Bestandteile dieser Kosten sind Kosten für die Bereitstellung von Speicherplatz und Infrastruktur für eine Erweiterung der TVD-Datenbank, Betreuung dieser Datenbank sowie Organisation und Anpassung des Datentransfers zu Kontrollstellen und zur Bundesverwaltung. Es sind mit Kosten für die Anfangsinvestition sowie mit Kosten für den laufenden Betrieb zu rechnen.
- Kosten beim Entwickler:
Zu den Entwicklungskosten im Bereich der Software können vorab keine genauen Angaben gemacht werden. Bestandteile dieser Kosten sind Kosten für die Entwicklung der lokalen Software und Datenbank, sowie der Benutzeroberfläche für den Abruf der Daten zu Kontrollzwecken. Erfahrungsgemäss liegen diese Kosten im fünf- bis sechsstelligen Bereich.
- Kosten für Aufbau und Test der Prototypen auf Betrieben:
In einem Pilotprojekt, für das inklusive von Vorarbeiten, erster Tests und Praxistests der Gesamtlösung mindestens 2 Jahre zu veranschlagen sind, fallen erfahrungsgemäss neben den unter «Kosten für den Landwirt» genannten Hardwarekosten Personalkosten für die Betreuung der Tests an. Es sind 1-2 Arbeitskräfte für einen Teil der Versuchsdauer bzw. in Teilzeit für das Projekt anzurechnen. Die Kosten hierfür liegen üblicherweise im sechsstelligen Bereich.
- Kosten für die Nutzung der AnimalTracing-Schnittstelle. Die Nutzung der AnimalTracing-Schnittstelle ist kostenlos, bedingt aber den Abschluss eines IAM-Vertrags mit dem BLW. Dieser Vertrag löst beim Softwarehersteller Kosten von initial ca. 3'000 CHF und jährlich ca. 1000 CHF aus.

6.2.11.2 Technische Machbarkeit

Folgende Schritte sind für die Etablierung eines digitalen Auslaufjournals nötig:

- Vorarbeiten:
 - Voranfragen zur Beschaffung/Zusammenstellung der Hardware. Entweder wird hierbei auf eine unabhängige RFID-Technologie gesetzt (eigener Prototyp Auslaufjournal), oder mit vorhandenen Anbietern solcher Technologie im Bereich der Rinderhaltung Kontakt aufgenommen (v.a. Melktechnikhersteller, siehe Abschnitt 6.3.2.7). Wichtig ist aus technischer Sicht die Abklärung der Bereitstellung von Datenschnittstellen durch die Hersteller.
 - Vergleich verschiedener Varianten bezüglich einmaliger und laufender Kosten, sowie Arbeitswirtschaftlichkeit und Implementierung und Handling im täglichen Betrieb.
 - In allen Fällen muss im Vorhinein das Datenmodell der zentralen Datenbank bei Identitas entwickelt werden, um sicherzustellen, dass das System auf den Betrieben die aus Verwaltungssicht nötigen Daten für dieses Modell vollständig bereitstellen kann.
- Aufbau und Test eines Prototyps:

- Zur Abklärung der unten genannten Herausforderungen, technischer Probleme und vorab nicht absehbarer Unwägbarkeiten bei der Nutzung des Systems ist in jedem Fall ein Pilotprojekt notwendig. Hierbei sollten mehrere Varianten für die Erkennung und verschiedenen Use-Cases (Laufhof, Weide, gestoppte oder freie Passage, siehe folgenden Abschnitt «Technische Umsetzung auf dem Betrieb») auf einem Betrieb getestet werden. Hierfür ist es im ersten Schritt nicht zwingend nötig, die lokale Software zu betreiben. Diese kann parallel erstellt werden, ebenso wie die zentrale Datenbank.
- Technische Umsetzung auf dem Betrieb:
 - Bei Toren mit LF-RFID ist zwischen Varianten zu unterscheiden, die die Tiere frei nacheinander passieren lassen, unabhängig davon, ob das Tier erkannt wurde, oder nicht. Es sind auch Tore erhältlich, die ein Tier nur passieren lassen, wenn es erfolgreich erkannt wurde. Solche Varianten sind technisch etwas aufwändiger und verlangsamen die Passage der Tiere. Sie werden heute in Mehrwegselektionen oder als elektronisches Weidetor in Verbindung mit einem automatischen Melksystem eingesetzt (siehe auch Abschnitt 6.3.2.7).
 - Die Ausstattung von Weidetoren schätzen wir im Allgemeinen einfacher ein als die Ausstattung von Toren zwischen Laufhof und Stall, da die Tiere das Weidetor seltener und häufig als Gruppe in einer Richtung passieren. So ist ggf. eine Vereinzelung besser durchführbar und es könnte in einigen Fällen auch auf die Erfassung der Richtung der Passage der Tiere verzichtet werden. Ein Laufhoftor ist im Gegensatz dazu zumeist ganztägig geöffnet, es sind oft mehrere Tore im Stall vorhanden, die alle mit RFID-Antennen ausgestattet werden müssten, die Richtung der Passage muss zwingend erfasst werden und die Tiere passieren die Tore häufiger, so dass die Passage möglichst ungehindert erfolgen sollte. Sollte allerdings die Weidenutzung mit freier Bewegungsmöglichkeit zwischen Stall und Weide erfolgen, so muss auch hier zwingend eine Richtungserfassung eingebaut werden. Möglich wäre dies durch das Vorsehen von zwei hintereinandergeschalteten Erfassungsbereichen oder auch durch ein Tor für den Ein- und ein Tor für den Ausgang.
 - RFID-Tore mit häufiger Passage der Tiere müssen ggf. dauerhaft aktiviert sein, bei Toren, die nur wenige Male täglich passiert werden, sollte eine Funktion zur manuellen Aktivierung vorgesehen sein, was die Datengenauigkeit erhöht.
 - Die Passage von Tieren als Gruppe wäre bei UHF-RFID möglich, da die höhere Lesereichweite und die Simultanerkennung von Transpondern dies erlauben. Solche Tore mit UHF-RFID-Antennen werden häufig in der Lagerlogistik eingesetzt (siehe Abschnitt 6.3.2.7).
 - Auf jedem Betrieb sind mögliche Störfaktoren zu berücksichtigen, die den Betrieb der RFID-Systeme beeinträchtigen und zu niedriger Erfassungsgenauigkeit führen können. Für LF-RFID sind hierbei vor allem drehzahlgeregelte Elektromotoren und andere elektrische Geräte zu nennen (Vakuumpumpe der Melkanlage, Ventilatoren, Leuchtstoffröhren u.a.). Im UHF-Bereich sind vor allem andere auf der UHF-Frequenz arbeitende Funksender zu berücksichtigen. Die meisten RFID-Reader verfügen über entsprechende Diagnostikfunktionen zur Feststellung von Störungen. Bei der Installation sind diese zu nutzen und ggf. die Reader entsprechend einzustellen, Distanz zu den Störquellen herzustellen und ggf. elektrische Installationen zu optimieren.
- Aufbau und Etablierung des Gesamtsystems:
 - Nach Selektion der Prototypen sollte jede Variante einem Praxistest auf einem Betrieb unterzogen werden. In dieser Phase müssen Fehler in Software und

Datenbank möglichst ausgemerzt werden, um die Umsetzung in der Praxis nicht zu beeinträchtigen. Es ist ein Pilotprogramm mit Förderung für eine Gruppe von Betrieben denkbar, die im Gegenzug die Entwicklung mit ihrem Feedback unterstützen.

- Wesentlicher Schritt der Etablierung ist der Test der Datenflüsse und die Prüfung von möglichen Fehlern bei der Datenaufnahme, -eingabe und bei der Dateninterpretation und deren Erkennung. Diese sind schon bei der Entwicklung der Datenübertragung, Eingabemaske und Datenbank zu berücksichtigen, bedürfen aber erfahrungsgemäss eines Praxistests.

6.2.11.3 Zeitliche Machbarkeit

Geschätzter zeitlicher Aufwand für die technischen Schritte aus Punkt 6.3.2.2:

- Vorarbeiten:
 - ca. 6 Monate Planung und Entwicklung des zentralen Datenbankmodells
 - parallel ca. 1 Jahr Abfrage und Bewertung von Varianten der Hardware mit Herstellern inkl. Einbeziehung von Landwirten zur besseren Beurteilung der Situation auf den Betrieben
- Aufbau und Test eines Prototypen:
 - ca. 0.5 Jahre Konzeption und Planung verschiedener Use-Cases
 - ca. 1 Jahr Test der Use Cases
 - parallel ca. 1 Jahr Erstellung der lokalen Software und zentralen Datenbank
- Aufbau des Gesamtsystems und Etablierung:
 - Ca. 1 Jahr Praxistest des/der Prototypen
 - Parallel Tests der Funktionen auf Datenbankseite und Prüfung der Integrität der Daten

Von Beginn der Vorarbeiten bis zur Etablierung des Gesamtsystems sind mindestens ca. 3 bis 4 Jahre anzusetzen. Grund sind u.a. umfangreiche Abklärungen bzgl. nötiger Schnittstellen von Anbietern der Selektionstore zu einem Datensystem des Auslaufjournals, die Konzeption und der Test von Varianten auf Betrieben und die Programmierung der Software. Die Umsetzung eines Prototypen der Software und Hardware muss die verschiedenen technischen Voraussetzungen und die vielfältigen Voraussetzungen auf den Betrieben berücksichtigen. Entsprechend ist Entwicklungszeit (v.a. Software) und Testzeit (Soft- und Hardware) auf Testbetrieben notwendig. Die Etablierung des Gesamtsystems inkl. Datenbank und Bereitstellung der Daten für die Kontrolle der Berechtigung der Direktzahlungen ist ebenso zeitaufwändig. Bei der Erstellung der Software könnte eventuell Zeit eingespart werden, wenn auf bereits bestehende Teile der Barto AG zurückgegriffen werden kann.

6.2.11.4 Rechtliche Machbarkeit

Im Hinblick auf die rechtliche Machbarkeit eines digitalen Auslaufjournals im Allgemeinen und einer Variante mit Nutzung von RFID-Systemen im Speziellen sind primär folgende Einzelpunkte abzuprüfen:

- Prüfung der Notwendigkeit von Änderungen in der aktuellen Direktzahlungsverordnung, um die Führung des Auslaufjournals vollständig digital zu ermöglichen (rechtli-

che Rahmenbedingungen); bspw. Abklärung, ob die Daten von automatischen Systemen rechtlich mit manuell erfassten Daten gleichgestellt sind, oder ob bzgl. der Qualität andere Ansprüche gelten müssen.

- Prüfung der Machbarkeit einer freiwilligen oder verpflichtenden Umstellung auf ein digitales Auslaufjournal im Rahmen der Direktzahlungsverordnung, insbesondere der Verteilung der Kosten auf den Staat und die teilnehmenden/verpflichteten Landwirte.
- Prüfung von Sonderfällen, die aus baulich-technischen Gründen auf einem Betrieb eine Umstellung auf ein digitales Auslaufjournal erschweren.
- Prüfung der Haftung bei aufgrund von technischen Mängeln und Datenfehlern verursachter Nicht-Erfüllung der Kriterien für das RAUS-Programm.
- Prüfung der aus Datenschutzgründen notwendigen Zugriffsbarrieren auf die Daten.

6.2.11.5 Machbarkeit Datenflüsse

In Abschnitt 6.3.1.1. wurden die für ein digitales Auslaufjournal auf Basis von RFID notwendigen Schnittstellen beschrieben. Technisch und rechtlich sind diese Schnittstellen und entsprechend auch die Datenflüsse aus unserer Sicht realisierbar. Wichtig ist hierbei aus rechtlicher und datenschutztechnischer Sicht die eindeutige Definition von Änderungs- und Zugriffsrechten an allen Positionen der Datenübertragung. Durch die Identifikation von Einzeltieren und die mögliche direkte Verknüpfung der Daten mit dem Tierbestand in der TVD sind bei einem RFID-basierten System innerhalb des Betriebes und zur zentralen Datenbank die Datenflüsse vereinfacht, sowie eine Kontrolle des Auslaufjournals mit weiteren Kontrollen in Bezug auf die TVD verknüpfbar.

Eine mögliche Fehlerquelle in Bezug auf die Datenflüsse ist die Nicht-Erfassung von Tieren beim Durchgang durch das Auslauf- oder Weidetor. Dies kommt in allen Systemen, auch den marktgängigen Selektions- und Durchgangstoren aller Anbieter vor, da es unter anderem bei hohen Durchgangsgeschwindigkeiten oder grösseren Lesedistanzen dazu kommen kann, dass ein Transponder nicht von der Antenne erkannt wird. Aus diesem Grund ist in jedem Fall die Möglichkeit für den Landwirt vorzusehen, die erfassten Daten zu ergänzen und zu korrigieren, bevor sie an die zentrale Datenbank gesendet werden. Alternativ ist eine gewisse Toleranz gegenüber Datenlücken in der zugrundeliegenden Verordnung vorzusehen, oder sogar die Möglichkeit zu schaffen, die Datenaufnahme auf einen Teil der Herde («Sentineltieren») zu beschränken. Eine weitere Möglichkeit, Datenlücken zu ergänzen bzw. Daten zu plausibilisieren ist die Verwendung zusätzlicher Sensoren. Beispielsweise ist denkbar, Lichtsensoren am Tier anzubringen, die registrieren, sobald das Tier den Stall verlässt. Auch die Erkennung des Grasens über Beschleunigungssensoren am Ohr oder am Hals des Tieres ist möglich. Diese Daten sind meist deutlich ungenauer als die Registrierung der Tiere mit RFID, jedoch können sie Zusatzinformationen liefern. Die Komplexität des Gesamtsystems für das digitale Auslaufjournal wird dadurch jedoch stark erhöht, so dass hier die Datenqualität mit dem Mehraufwand kritisch abgewogen werden muss.

6.2.12 internationale Erfahrungen

Eine digitale Erfassung von Auslauf- und Weidenutzung für behördliche Kontrollzwecke ist uns aus anderen Staaten nicht bekannt. Jedoch werden LF-RFID-gesteuerte Tore bereits weltweit in modernen Milchviehställen zur Selektion von Tieren, zur Steuerung des Kuhverkehrs bei automatischen Melksystemen und zur Steuerung der Weidenutzung eingesetzt. Auch sind LF-Systeme aus dem Bereich der Rindermast auf Grossbetrieben in Australien, Nord- und Südamerika auf dem Markt, die eine Erkennung von Tiergruppen ohne Vereinzelung der Tiere erlauben (siehe Abschnitt 6.3.2.7).

Versuche zur Erkennung von Rindern beim Durchgang durch mit UHF-RFID-Antennen ausgestattete Tore sind in der Dissertation von Hammer (2017) (siehe Abschnitt 6.3.1) zu finden. Hier wurde mit zwei Antennen in einem ca. 3 m breiten Tor nur in einer Variante eine Erkennungsrate von knapp 100% erreicht. Eine Erhöhung der Anzahl an Antennen wäre somit notwendig zur Erhöhung der Erfassungssicherheit. Ein einzelner Anbieter eines Systems zur Registrierung von Gruppen von Rindern mit UHF-RFID ist den Autoren aus Nordamerika bekannt (siehe Abschnitt 6.3.2.7). Zur Nutzung von UHF-RFID kann des Weiteren auf Erfahrungen aus der Logistik zurückgegriffen werden. Hier sind spezialisierte Anbieter von RFID-Toren auf dem Markt.

Das Landwirtschaftsministerium der USA hat Erfahrungen beim Test von UHF-Ohrmarken für ein Rückverfolgbarkeitssystem in der Rindermast. Ähnliche Anwendungen sind in Kanada in der Diskussion, es sind jedoch wenige Informationen verfügbar.

6.2.13 weitere relevante Informationen

Nachfolgend sollen einige Beispiele für die Ausgestaltung von Durchgangstoren mit RFID verlinkt werden, um die Möglichkeiten besser zu visualisieren (Auswahl ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Übersicht zu Möglichkeiten der Tierselektion: <https://www.topagrar.com/rind/aus-dem-heft/kuehe-aus-der-herde-filtern-9695826.html>
- GEA «Cow Routing and Selection»: https://www.gea.com/en/productgroups/farm-equipment/cow_routing-selection/index.jsp
- DeLaval «Sort gates»: <https://www.delaval.com/en-us/our-solutions/milking/cow-traffic/delaval-sort-gates/>
- DeLaval «Walk-by reader IRW» <https://www.delaval.com/en-us/our-solutions/milking/cow-traffic/identification-and-observation/delaval-multi-reader/>
- Lely «Grazeway»: <https://www.lely.com/de/losungen/melken/grazeway/>
- BouMatic «EZ-Sort»: https://boumatic.com/eu_en/products/ez-sort
- Milkline «Selection Gate»: <https://www.milkline.com/en/75-selection-gate>
- Dairymaster «Drafting Systems» <https://www.dairymaster.com/products/milking/drafting/drafting-options/>
- Nedap «Sortierung und Routing» <https://www.nedap-livestockmanagement.com/de/milchviehhaltung/loesungen/sortierung/>
- Multiples LF-Tor mit freiem Durchlauf: Aleis «Multi Read Systems»: <http://www.aleis.com/industrial/multi-read-systems-5002V-5006V/multi-read-systems-5002v-5006v>
- UHF-Gate für Rinder: Anitrac <https://vimeo.com/185576106>
- UHF-Tore Logistik:
 - Turck: <https://www.turck.at/de/schnelle-datentraegererfassung-an-gates-10347.php>
 - Smart Label Solutions: <https://www.slsrfid.com/about/>

Die Ergänzung der Tiererkennung mit RFID durch weitere Sensoren ist zur Erhöhung der Plausibilität der Daten möglich. Nachfolgend sind Beispiele genannt (Auswahl ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Sensoren zur Messung der Lichtintensität für Vögel, Lotek: <https://www.lotek.com/products/flight-geolocators/>
- Ohrsensor zur Messung verschiedener Verhaltensweisen beim Rind, CowManager: <https://www.cowmanager.com/de-de/>

6.2.14 Vor- und Nachteile

Vorteile eines RFID-basierten digitalen Auslaufjournals:

- Jedes einzelne Tier wird mit einem RFID-System eindeutig erfasst. Dies ermöglicht eine umfangreiche Erfüllung bestehender Anforderungen an das Auslaufjournal aus Sicht der Kontrolle.
- LF-RFID-Technik ist bereits auf vielen Betrieben vorhanden, sodass eine einfache Erweiterung bestehender Systeme um ein weiteres RFID-Tor technisch einfach realisierbar ist. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit der Daten über Schnittstellen des zugehörigen Herdenmanagementsystems.
- RFID-Technik ist keine Insellösung, sondern kann auch mit anderen Technologien/Sensoren kombiniert werden.
- RFID-basierte Tiererkennung kann auf den Betrieben im Umkehrschluss auch für andere Anwendungen (z.B. Erkennung im Melkstand, Verhaltensüberwachung) genutzt werden.
- Die passiven LF-RFID-Transponder in Ohrmarke oder Halsband sind wartungsfrei und weisen im Regelfall eine Haltbarkeit von vielen Jahren auf, eingeschränkt nur durch übliche Verlustraten bei Ohrmarken. Für UHF-RFID-Ohrmarken liegen bisher keine Langzeittests unter europäischen Bedingungen vor.

Nachteile eines RFID-basierten digitalen Auslaufjournals:

- Für alle RFID-basierten Varianten entsteht neben den tierindividuellen Sensoren ein gewisser Hardware- und Umbauaufwand, um Durchgangstore mit RFID auszurüsten und bei LF-RFID eine Vereinzelung der Tiere beim Durchgang zu ermöglichen.
- Das System basiert auf einer Ausstattung der kompletten Herde mit RFID-Ohrmarken oder Halsbandtranspondern. Jedoch weisen alle Arten von Ohrmarken und auch Halsbandtransponder eine gewisse Verlustrate auf. Verlorene Transponder müssen unbedingt zeitnah ersetzt werden, damit das System nutzbar bleibt.
- Für LF-RFID-basierte Systeme müssen die Tiere im Regelfall vereinzelt werden, was den Tierverkehr beim Gang auf die Weide bremsen kann, für die Tiere auch in gewissen Situationen Stress verursachen kann, zu baulich-technischem Aufwand führt und nicht in allen Situationen, vor allem bei Durchgängen zum Laufhof, realisierbar ist. Zudem ist die Akzeptanz der Tierhalter für zusätzliche Gatter und Tore fraglich.

6.2.15 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der Gesamtbetrachtung ist ein RFID-basiertes digitales Auslaufjournal eine realisierbare Variante. Die Verwendung von LF-RFID mit der Möglichkeit der Nutzung von LF-Transponderohrmarken, die eine der beiden gesetzlich vorgeschriebenen Ohrmarken ersetzen können und auch die TVD-Nummer der Tiere beinhalten, macht solch ein System kompatibel mit der vorhandenen TVD. Zusätzlich ist auf vielen Betrieben für die Identifikation der Tiere beispielsweise an Kraftfutterstationen und im Melkstand bereits LF-RFID-Technik vorhanden, die für das digitale Auslaufjournal ergänzt werden kann. Dies kann den Entwicklungs- und Testaufwand eines solchen Systems verringern. Für ein UHF-RFID-basiertes System ist

mehr Entwicklungsaufwand zu veranschlagen, auch wenn dieses aufgrund der möglichen Gruppenerkennung vielfach vorteilhaft wäre, sofern eine hohe Erfassungsgenauigkeit erreicht werden kann.

Aus diesem Grund empfehlen wir, ein LF-RFID-basiertes digitales Auslaufjournal detaillierter zu prüfen. Wichtig ist hierbei, das System so vielseitig wie möglich zu gestalten, sowohl im Hinblick auf verschiedene Anbieter der Hardware als auch Einbausituationen, um eine breitere Nutzung in der Praxis zu ermöglichen. Für eine schnelle Umsetzung empfehlen wir daher, auf einfache RFID-Tore zurückzugreifen, die eine freie Passage unabhängig von der korrekten Erkennung ermöglichen und im Gegenzug eine gewisse Toleranz bei der Vollständigkeit der Daten und Ergänzungsmöglichkeiten durch den Landwirt vorzusehen.

6.3 Variante 2 (Smart Tags, aktive Systeme)

6.3.1 Beschreibung

Le terme « Smart Ear Tag » (« marque auriculaire intelligente » et le terme généralisé « smart Tag ») décrit des systèmes actifs qui sont portés par l'animal. Les marques intelligentes sont plus complexes et livrent beaucoup plus d'informations que les marques auriculaires classiques ou que les marques électroniques passives. Elles se distinguent par plusieurs critères [1], [2] :

- Un ou plusieurs capteurs qui mesurent des paramètres ponctuellement ou continuellement. Par exemple un accéléromètre ou un capteur de position.
- Une capacité à stocker des données sur des périodes de temps longues (de l'ordre de jours à semaines) et d'effectuer des calculs sur la base des données récoltées. Ces calculs permettent par exemple de compresser les données ou d'en faire une première analyse afin de surveiller l'état de l'animal en temps réel et d'envoyer des alertes dans le cas échéant. En résumé, la marque doit posséder au moins un micro-contrôleur.
- Une connexion qui permet le transfert à distance depuis la marque vers une base de données des informations récoltées et, le plus souvent, d'une possibilité de transfert en sens inverse pour la mise à jour des logiciels embarqués.
- Une source d'énergie qui alimente l'électronique et les capteurs. Celle-ci peut-être une pile non-rechargeable, une batterie rechargeable, une technologie de récolte d'énergie (en Anglais : Energy Harvesting Technologies) ou une combinaison des possibilités énumérées.

Dans le cas présent, uniquement des marques intelligentes dotées d'un système de géolocalisation seront considérées. Comme les marques classiques ou passives elles peuvent également servir, mais pas forcément, à l'identification unique et officielle de l'animal. Certaines sont en cours de certification de l'International Committee for Animal Recording (ICAR) [3] ou peuvent y prétendre. Cet organisme garantit que les marques certifiées, intelligentes ou pas, puissent être utilisées dans les difficiles conditions météorologiques et de travail qu'imposent l'élevage. Cette catégorie de marques intelligentes certifiées peut donc compléter ou même remplacer les marques auriculaires d'identification obligatoires. Beaucoup de marques intelligentes commerciales actuelles se focalisent sur les bovidés, puisque leur stature autorise que des marques plus lourdes et/ou plus grandes soient utilisées que pour les ovins ou les caprins par exemple. On ne se limite pas uniquement aux marques auriculaires dans le texte qui suit. Cependant elles sont la base de discussion puisqu'elles représentent une alternative aux marques auriculaires officielles d'identification et peuvent remplir les mêmes tâches que des systèmes en collier.

D'après leur définition, les marques intelligentes peuvent remplir les conditions d'un système de mesure pour le journal des sorties. Dans les sections suivantes, l'état de la technologie sera présenté pour chaque aspect des marques intelligentes. Les sections seront toujours ponctuées par un éclairage de la thématique dans le contexte d'un journal de sortie électronique. Plusieurs exemples commerciaux seront démontrés et une analyse des forces et des faiblesses clôturera le chapitre. Pour une liste des systèmes commerciaux disponibles, voir [4].

6.3.2 Lokalisierung

On considère les marques intelligentes comme étant candidate à l'instrument d'un journal électronique de sortie puisqu'elles peuvent mesurer leur position. Dans cette section seront décrites les différentes possibilités de mesures de position et leur qualité seront discutées.

La localisation des marques intelligentes se base sur le principe de la triangulation par radio-goniométrie : la position est relevée relativement à des antennes actives. La position absolue est ensuite inférée des coordonnées, connues, des antennes et de la position relative de la marque intelligente par rapport aux antennes. Il s'agit d'une simplification, certains protocoles fonctionnent de façon légèrement différente (ou complètement opposé : un émetteur actif et des antennes réceptives), mais le principe de base reste. A noter que pour lever toute incertitude quant à une position donnée dans les trois axes spatiaux, un minimum de quatre signaux d'émetteurs distincts doivent être perçus. Si le récepteur est contraint dans un plan, donc dans deux coordonnées spatiales, le nombre minimal d'antennes est abaissé à trois. Un plus grand nombre d'antennes de référence permet de réduire les erreurs faites sur la détermination de la position.

Plusieurs technologies peuvent être employées pour la localisation. Des mesures locales ou globales, voire d'augmentation sont possibles :

- La mesure locale consiste à relever la position par rapport à des antennes installées localement dans l'étable ou le pâturage en utilisant par exemple les signaux d'une connectique WiFi (voir section 4.5). Ces systèmes fonctionnent typiquement avec la même portée que la connectique, donc de l'ordre de grandeur de 100 mètres. Ces systèmes proposent une précision du relevé de l'ordre de 1 à 3 mètres (par exemple [5] et [6] pour un système commercial [7] et [8]) et la localisation peut être effectuée très régulièrement, car elle ne représente qu'une petite dépense énergétique pour la marque intelligente. D'autres systèmes basés par exemple sur le Bluetooth (voir section 4.5) sont possibles. A noter que la qualité de la mesure dépend évidemment de la qualité avec laquelle les antennes ont été posées, notamment pour la puissance du signal et de la connaissance de leur position. Ces infrastructures permanentes ou semi-permanentes ont besoin d'énergie et de maintenance, ce qui alourdi les besoins logistiques (voir section 4.5 pour une discussion sur les infrastructures de télécommunication qui servent, notamment, à la localisation). De plus, le nombre important d'antennes nécessaires pour compenser la portée limitée réduit encore la faisabilité de cette variante à l'extérieur. Pour une utilisation intérieure, ce système est très bien adapté : il permet une bonne précision dans le périmètre réduit de l'étable. Dans le contexte d'un journal électronique de sortie, il mesure si l'animal est à l'intérieur. A noter qu'on ne peut pas garantir que l'animal est dehors, mais plutôt que la marque intelligente n'est pas à portée des antennes. La marque intelligente SmartBow, commercialisée par Zoetis, utilise la localisation par WiFi [5], [9], [10].
- La mesure par un système de positionnement global par satellite (Global Navigation Satellite System – GNSS) utilise des satellites placés en orbite terrestre comme antennes émettrices de référence et couvre la Terre entière. Un exemple de système est le GPS américain, mais d'autres systèmes existent comme le Galileo européen,

le GLONASS russe et le Beidou chinois. Ces systèmes globaux ne nécessitent pas d'infrastructure au sol, mis à part des récepteurs : il s'agit de petites antennes passives qui, couplées à de petits calculateurs embarqués, fournissent une position généralement précise entre 2 et 10 mètres (par exemple : [11], [12], [13], [14]). Ces récepteurs GNSS sont suffisamment petits pour être intégrés à de nombreux objets connectés (IoT – internet des objets), mais ils consomment plus d'énergie qu'une mesure locale. La fréquence de la mesure est donc réduite par rapport à des mesures locales pour limiter la consommation énergétique, de l'ordre d'une dizaine de point par jour pour être conservateur. Le relevé de positionnement à l'intérieur de bâtiments fermés, dans une forêt ou dans une ville avec de hauts bâtiments est dégradé, car les signaux émis par les satellites sont absorbés ou reflétés. La mesure, si elle est possible, peut être très incertaine. La qualité de la mesure dans des bâtiments agricoles doit être confirmée par des tests sur le terrain, mais elle n'attendra probablement pas les moins de 10 mètres (voir [14] pour une étude de cas en forêt). Au contraire des mesures locales, la mesure par GNSS est optimale pour les pâturages et les alpages, mais n'est pas adaptée à l'intérieur des bâtiments. Plusieurs marques intelligentes commerciales fonctionnent avec des mesures GNSS, par exemple les systèmes australiens Ceres Tag [15] ou mOOvement [16].

- La mesure dite augmentée se base sur un système et l'incertitude du relevé est améliorée par de l'ajout d'information. Un exemple est une mesure GNSS couplée au système suisse AGNES permet de la très haute précision (jusqu'à des précisions centimétriques) si le récepteur GNSS reçoit des signaux GSM [17]. Ces services d'augmentation sont payants et sont relativement cher. De plus, pour fonctionner de façon optimale, il faut également que la mesure primaire du GNSS soit bonne. Ces mesures augmentées n'ont donc pas un grand intérêt pour les marques intelligentes.

On le voit, on peut localiser précisément un animal à l'intérieur ou à l'extérieur, mais pas les deux en même temps. On peut imaginer un système hybride qui mesure sa position par GNSS à l'extérieur et utilise des antennes locales lorsqu'il ne reçoit plus de données de positionnement. Bien qu'un tel double-système puisse en principe localiser les marques intelligentes à l'intérieur et à l'extérieur, il exige également plus de ressources, l'installation d'antennes locales et une volonté du fabricant d'implémenter cette solution.

Les incertitudes les plus grandes surviennent de toute façon lorsque les animaux sont proches des bâtiments et plus précisément entre l'extérieur et l'intérieur. Avec un système GNSS et pour un animal dehors, mais à un ou deux mètres d'un mur, l'incertitude sur la mesure pourrait impliquer être localisé du mauvais côté de ce mur. Pour vérifier l'incertitude, une série de localisation pourrait être effectuées sur une courte durée, mais comme pour la solution précédente, son implémentation doit être discutée avec le fabricant et n'est pas une garantie de succès.

Ces obstacles semblent importants, mais parce qu'ils sont discutés au niveau de l'individu et pour chaque relevé de position. Pour lisser les incertitudes trop grandes d'une mesure prise juste au mauvais moment, on peut agréger les points individuels et voire même les relevés du cheptel. Le résultat serait par exemple pour un individu lors d'une journée : 15 points dans le pâturage et 4 à l'intérieur et 1 trop incertain. Sur un mois et pour un individu, 60% des points à l'extérieur, 35% à l'intérieur et 5% trop incertains. Le résultat final serait donc ~63% à l'extérieur et 37% à l'intérieur en négligeant les points trop incertains. L'agrégation des données permet aussi une meilleure sécurité des données (voir section 4.9). Evidemment, il faut s'assurer que l'échantillonnage soit temporellement bon, c'est-à-dire homogène sur une certaine durée de temps (sur les heures de sortie, voire sur les 24 heures du jour), pour ne pas biaiser les résultats.

Les différentes méthodes décrites ci-dessus montrent qu'il y a un fort potentiel pour des marques intelligentes comme instrument d'un journal électronique de sortie. Néanmoins, des réserves persistent quant aux performances réelles sur le terrain, en particulier aux interfaces entre l'extérieur et l'intérieur. Les objectifs d'un journal électronique de sortie ne recouvrent que partiellement les objectifs typiques des fabricants de marques intelligentes, qui sont la surveillance de la santé et savoir où se trouve les animaux dans de grands pâturages assez souvent du type « ranching system, open range ». Cette remarque sur les objectifs est vraie pour toutes les variantes présentées dans cette étude que ce soit des systèmes passifs ou vidéos. Il faut donc vérifier les performances des systèmes dans le contexte d'un journal de sortie par des essais en conditions réelles des systèmes locaux et globaux.

6.3.3 Sensoren

Les marques intelligentes se distinguent des autres marques par leur capacité à mesurer certains paramètres. Ces capteurs récoltent des données qui peuvent être ensuite analysées pour en déduire des indicateurs de santé ou de bien-être par exemple. Dans cette section, les différents capteurs et leur utilité vont être présentés. Le texte va se concentrer sur les capteurs les plus souvent utilisés. Des capteurs spécifiques à certaines applications et moins courants seront mentionnés en fin de section. A noter que les systèmes de localisation sont normalement considérés comme capteur par les fabricants, mais pour des raisons évidentes, la localisation fait l'objet d'une section à part entière dans ce rapport (voir section 4.2). Les capteurs principaux sont :

- Les accéléromètres qui mesurent les mouvements de l'animal le plus souvent dans les trois axes spatiaux. Les accéléromètres sont des capteurs utilisés dans beaucoup d'objets connectés. Un exemple : les accéléromètres dans un téléphone portable donnent notamment l'orientation de l'écran. Les accéléromètres sont issus d'une technologie bien connue. Ils sont petits (de l'ordre d'un cube de 2 mm d'arête), fiables et consomment très peu d'énergie (un capteur parmi tant d'autres adapté à l'IoT : [18]). Grâce à ces capteurs, l'activité de l'animal est déduite : le nombre d'heures couché, à marcher voire à manger et ruminer sont inférées des données. Les postures reconnues et la précision des mesures seront dépendantes du type de marque (auriculaire, en collier, attaché à une patte, ...), des capteurs choisis, du débit autorisé par la connectique (voir la section 4.5) et des algorithmes utilisés pour l'analyse (section 4.4). Ces accéléromètres fournissent à la base des alertes pour les détenteurs. Une activité anormale peut révéler des troubles de santé ou de bien-être (se référer à la même section 4.4 pour plus de détails).
- Les thermomètres mesurent la température proche de la marque. Il ne s'agit donc pas de la température corporelle, mais d'une mesure de la température de la peau ou de l'air ambiant très proche de la peau. Cette température reste quand même importante puisqu'on peut expliquer certaines activités par la température ou détecter des comportements inadéquats (par exemple un animal restant sans autre activité apparente en plein soleil lors d'une canicule). Pour les capteurs de température aussi, il s'agit d'une technologie éprouvée qui s'intègre dans des très petits volumes (encore plus réduits que pour les accéléromètres) et exigent très peu d'énergie. Malgré qu'ils ne mesurent pas la température corporelle, les capteurs de température permettent d'obtenir des informations environnementales (la température extérieure, bien qu'impactée par la chaleur dégagée par l'animal). Ces informations, couplées aux informations météorologiques pourraient également servir de proxy pour la position à l'intérieur ou à l'extérieur de bâtiments. Inclure un thermomètre dans une marque intelligente n'exige que très peu de ressources et complémente les données des accéléromètres. De plus, elle peut alerter si les limites de fonctionnement de la marque intelligente en température sont approchées.

En plus de ces capteurs qu'on peut taxer de classique, plusieurs autres capteurs sont utilisés, ceux-ci sont souvent encore au stade de la recherche appliquée :

- Le rythme cardiaque peut être mesuré par plusieurs techniques. Le Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) a participé au développement de petits capteurs pour une mesure de la fréquence cardiaque par photopléthysmogramme (PPG), soit la mesure du changement de débit du sang en sous-cutané [19]. En plus de pouvoir calculer le rythme cardiaque, une série d'autres indicateurs sont accessibles, comme la variabilité de la fréquence cardiaque et d'autres [20], ce qui ouvre un grand champ de récolte de données. Mesurer le rythme cardiaque a des bénéfices évidents pour la surveillance de l'état de santé de l'animal, dont, entre autres, le bien-être (stress). Plusieurs objets connectés prévus pour les humains exploitent des relations entre la fréquence cardiaque et la température corporelle pour mesurer indirectement la température (par exemple [21]). La start-up Ava [22] se base sur la technologie du CSEM pour prédire les périodes de fertilité chez la femme. Une équipe du CSEM est en train de porter la technologie PPG de la mesure du rythme cardiaque humain vers les porcs avec le projet Pig Health Tracking (FITPig) [23]. Cette étude se déroule dans le cadre du projet le plus important en Europe pour l'IoT en agriculture : l'Internet of Food & Farm 2020 (IoF2020) [24].
- Des microphones montés sur des colliers ont été testés pour mesurer la rumination. Un système d'Allflex, SCR VocalTag, fonctionnait de cette manière il y a une dizaine d'années [25]. Cette technologie a été rattrapée par la mesure par accéléromètre. En effet, les microphones sont relativement volumineux, lourds et bruyants.
- Des bolus intelligents peuvent mesurer le pH, mais aussi la teneur en CO₂, CH₄ et en NH₃ dans le rumen. Les systèmes moow [26] ou eCow [27] proposent de mesurer le pH et pour moow les teneurs en gaz également. Ces aspects sont très intéressants en eux-mêmes, mais les systèmes de bolus intelligents commerciaux ne proposent pas de mesure de positionnement, en tout cas sans y rajouter un collier. Ils sont donc de moindre importance pour l'étude actuelle.
- En plus des capteurs embarqués, on peut rajouter des capteurs environnementaux qui mesurent par exemple la température ambiante ou la qualité de l'air. Ces capteurs externes peuvent être placés sur les éventuelles antennes locales qui doivent être installés pour la connectique (voir section 4.5) plutôt qu'embarqués sur les marques intelligentes. Ces informations météorologiques et de qualité de l'air sont des données importantes pour étudier la qualité de l'environnement à l'étable, un élément qui influence la santé et le bien-être animal.
- Un panneau solaire peut non seulement être utilisé comme générateur d'énergie, mais aussi comme capteur. Le potentiel électrique produit dépendant de l'illumination. C'est donc une mesure directe de l'illumination ambiante qui permet de mesurer par proxy si c'est une illumination naturelle ou artificielle. Une étude a démontré qu'il est possible de déterminer avec une exactitude entre 89% et 98% la position de poules à l'intérieur ou à l'extérieur d'une étable [28]. Ce genre de capteur peut permettre de réduire les incertitudes sur la position à l'intérieur ou l'extérieur d'un bâtiment.

Il y a donc un grand choix de capteurs possibles. Monter un accéléromètre sur une marque intelligente est un passage obligé puisqu'il livre la majorité des données de santé et de bien-être. Evidemment, la marque intelligente doit aussi posséder un système de localisation. En fonction des objectifs de la marque intelligente d'autres capteurs pourront être montés. Il s'agit bien sûr de trouver un équilibre entre consommation énergétique (section 4.6), volume des données (section 4.4) et fréquence de mesure. Une mesure en continu n'apporte pas

forcément plus d'éléments que quelques périodes bien choisies de mesure. Les mesures ne peuvent avoir lieu qu'une dizaine de fois par jour sans réduire l'utilité des données récoltées. Le système du CSEM de surveillance des porcs par exemple ne fonctionne qu'une fois toutes les unes à quatre heures et n'enregistre l'activité que sur cinq minutes [23], le système australien Ceres Tag également ne mesure certains paramètres que quelque fois par jour [15]. Ces fréquences de mesure basses peuvent toutefois être augmentées si la situation le demande.

Tous les capteurs démontrés ici ont fait l'objet d'études par les fabricants et certaines institutions. On ne peut qu'être convaincu de leur utilité. Néanmoins, les capteurs ne sont pas le seul pilier de l'analyse de données. Les capteurs génèrent des données qui sont ensuite analysées par des algorithmes. Ces algorithmes ont un impact important sur la performance de la marque intelligente (voir la section 4.4). La mise en valeur de ces résultats et les alertes qui sont générées selon l'état de santé ou de bien-être. Le logiciel de gestion est donc un élément également essentiel (section 4.8).

Dans le contexte du journal électronique, il n'y pas d'autres capteurs indispensables que la localisation. Cependant, on l'a vu, plusieurs autres capteurs, comme les accéléromètres ou le thermomètre, peuvent fournir des informations qui permettent de confirmer les relevés de position par proxy.



Figure: Le système Moovement (gauche) et le système en collier Ida. (Source : fabricants respectifs).

6.3.4 Algorithmen, Processing und Speicher

Cette section dédiée aux algorithmes, à la puissance de calcul et à la mémoire ne sera ni technique ni longue. En effet, l'électronique embarquée moderne permet des calculs relativement nombreux (donc des traitement et analyses des mesures) à bord qui sont complétés par une analyse secondaire sur des ordinateurs personnels et serveurs. Les algorithmes sont généralement propriétaires, mais pas forcément. Dans le texte qui suit, les principes de fonctionnement importants sont décrits. Ces analyses vont de la description statistique simple à des analyses d'apprentissage automatique (machine learning en Anglais – une des techniques d'intelligence artificiel, voir la solution Ida [29] pour un exemple de solution commerciale) et passant par des analyses classiques de signaux (comme par exemple des transformées de Fourier pour l'analyse de fréquence d'événements). On notera que ce ne sont pas seulement les analyses d'animaux individuels qui révèlent de l'information, mais aussi l'analyse de l'état du cheptel peut être bénéfique, voir par ex. [30]. Ces algorithmes sont développés au moins en partie par les fabricants de marques intelligentes, mais aussi par d'autres entités telles que des universités et groupes de recherche (des exemples sont citées lorsque les algorithmes sont décrits plus bas).

Les algorithmes embarqués qui sont installés sur le système opérationnel peuvent être mis à jour et ainsi utiliser les dernières connaissances et développement. Les algorithmes embarqués fonctionnent typiquement en recherchant des points qui sortent de la norme, – classiquement qui sortent d'une bande de 3σ autour de la baseline (norme). Cette norme est construite sur le comportement typique de l'animal et est basé sur l'historique des quelques derniers jours ou semaines (souvent 14 jours [15]). Ces algorithmes primaires demandent peu de calculs et d'énergie en général. Ils permettent de catégoriser les derniers points de mesures (normal/anormal par exemple) et/ou de compresser les données. Ces algorithmes embarqués peuvent déterminer où se trouve l'animal et ainsi mesurer le temps passé à l'extérieur par exemple (voir section 4.2) ou si l'animal se situe à l'intérieur d'une zone prédéfinie (fonction de virtual fencing).

Ces analyses à bord sont complétées par des analyses secondaires qui sont plus poussées qui sont faites sur les centres de calculs du fabricant ou sur l'ordinateur de bureau de l'exploitant. C'est dans le cadre de ces analyses secondaires que des algorithmes classiques et d'apprentissage automatique sont exploités. Les algorithmes peuvent être spécialisés pour détecter certains événements, comme par exemple autour de l'œstrus (par ex. [31], [32], [33], [34]), le début du vêlage (par ex. [35],), ou l'activité générale de l'animal (par ex. [36] ou [37]). La rumination est un des objectifs principaux du système de licol apposé autour du museau de RumiWatch [38]. Pour ce dernier les analyses se basent principalement sur les mesures des accéléromètres.

Les capacités de l'électronique embarquées sont suffisantes pour contrôler les capteurs, effectuer les premières analyses et se connecter aux réseaux pour l'échange d'information. Une certaine pesée des intérêts entre un contrôleur énergivore et/ou relativement plus lourd ou volumineux, mais puissant et un petit microcontrôleur aux capacités forcément plus réduites devra être fait par le fabricant. Il ne fait pas de doutes que des solutions commerciales éprouvées existent. Les conditions climatiques suisses ne sont pas un problème majeur pour l'électronique moderne.

Les marques intelligentes ne génèrent pas une quantité très importante de données. Selon le taux d'actualisation des mesures, les données brutes peuvent être conservées plusieurs jours voire plusieurs semaines à bord, sans perdre d'information. On peut donc imaginer que les marques intelligentes qui perdraient la connexion au réseau, quel que soit la raison, puissent continuer à enregistrer de nouvelles données tout en conservant l'historique pendant plusieurs jours. Elles joueraient un rôle similaire à des boîtes noires montées sur des avions.

Les données d'une marque sont transférées sur des serveurs locaux, centraux et/ou de tierces parties, selon le système choisi. Bien qu'une marque individuelle ne génère pas énormément de données, le cumul peut être important. Tout ce qui est envoyé ne doit pas forcément être conservé dans sa forme brute. Par exemple, seuls les résultats du traitement des données peuvent être conservés ou seulement des données agrégées. A noter que le choix de la connectique et de son débit maximum peut jouer un rôle prépondérant. Ici encore, le choix du type de données stockées voire envoyées doit être fait en fonction de l'objectif. Pour un journal de sortie automatique, on peut imaginer stocker uniquement le taux journalier de points mesurés à l'extérieur des bâtiments et ne pas garder chaque point et ses coordonnées spatiales et temporelles. Toujours dans ce contexte, les données au moins agrégées de position doivent être conservées et les algorithmes qui traitent et vérifient les données de localisation doivent être soignés. Ceci implique que le virtual fencing soit performant. On peut penser ici à corrélérer les périodes passées à l'extérieur à des taux d'activité (par un nombre de pas effectués) plus haut.

On évoquera dans la section 4.9 les aspects de sécurité et de contrôle des données.

6.3.5 Verbindung

Une marque intelligente doit pouvoir communiquer ses mesures voire ses alertes au logiciel de gestion. Pour que la source d'énergie ait une durée de vie longue (voir section 4.6) et que les dimensions (masse y compris) du hardware soient raisonnables, la quantité de données sera limitée. La quantité totale de données téléchargeable par jour ou par semaine sera restreinte également par les coûts parfois importants des messages qui sont acheminés par les réseaux commerciaux. Quel que soit le choix de la connectique, elle doit pouvoir transmettre régulièrement des informations de base sur l'animal (par exemple sa position ou les données des accéléromètres) et sur l'appareil (par exemple l'état de charge de la source d'énergie). En plus de ces informations de base, des messages d'alertes peuvent être émis. Pour ces messages prioritaires, le temps de latence entre la détection d'un état d'alerte et la réception du message doit être minimisé. Les messages d'alertes doivent pouvoir être envoyés à n'importe quel moment, en plus des messages réguliers.

La connectique des marques intelligentes peut varier grandement selon les fabricants et le type de solutions apportées par la marque intelligente. La connectique peut utiliser des réseaux qui seront appelés locaux, mis en place pour soutenir les marques intelligentes et exploité de façon privée par le propriétaire du système. L'autre alternative est d'utiliser des réseaux commerciaux déjà existants voire une combinaison des deux. Les réseaux locaux exigent que du matériel soit installé sur l'exploitation, qu'ils soient configurés et maintenus par des techniciens formés. Lors du choix du système pour des marques auriculaires intelligentes, le débit ne doit pas être le critère majeur, mais plutôt la robustesse du réseau et son efficacité. En effet, l'installation d'antennes va de pair avec une source d'électricité constante, un serveur local qui traite les données reçues et très probablement une connexion internet stable depuis le bureau de l'exploitant pour accéder aux serveurs du fabricant et permettre les services mobiles (tableau de bord accessible sur smartphone et alertes par SMS par exemple, voir section 4.8). En plus d'être logistiquement lourd, mettre en place une infrastructure locale pour chaque exploitation peut représenter des charges d'investissement élevées.

Faire une liste complète des fréquences et protocoles utilisés est hors de la portée de ce travail, mais les tendances principales sont citées ci-dessous et classées par type de réseau:

- Le système LoRa (Long Range ; longue portée) est un réseau à basse puissance et à longue portée. Cette technologie est particulièrement en vogue dans le domaine de l'internet des objets pour plusieurs raisons. Notamment pour sa longue portée (jusqu'à 3 ou 10 km dans des conditions urbaines ou rurale respectivement [39]), mais aussi pour son mode de fonctionnement. Par le fonctionnement du réseau, seul un petit nombre de messages peuvent être envoyés par jour (typiquement jusqu'à une centaine selon les configurations) avec une bande passante faible [40]. Ce réseau convient aux applications d'IoT qui communiquent des messages contenant peu d'information (par exemple un descriptif statistique des mesures et la position actuelle). La technologie est mixte : elle peut être utilisée localement en installant ses propres antennes, comme le propose les systèmes de collier d'AlpTracker AG [41] ou la marque auriculaire de mOOvement [16], ou d'utiliser des réseaux commerciaux existants. En Suisse, Swisscom AG exploite un réseau commercial couvrant 97% de la population et propose plusieurs abonnements [42]. Des antennes LoRa peuvent être rajoutées dans des bâtiments et étables pour garantir la transmission des messages à l'intérieur et compléter ainsi le réseau commercial.
- Des connexions par WiFi sont également possibles. Le WiFi permet de hauts débits et est une technologie bien établie et bien comprise. Toutes les données récoltées peuvent être donc envoyées. Dans certains cas, des mesures peuvent être transmises en temps réel. La distance de connexion est courte, de l'ordre de 100 à 500 mètres maximum selon le terrain [10]. Cette distance ne permet donc pas une utilisation au pâturage sans l'installation de nombreuses antennes. De nouvelles fréquences opérationnelles pour certaines variantes offrent des portées allant jusqu'à un kilomètre [43], mais ces nouvelles variantes n'ont pas encore fait leurs preuves commerciales. La puissance nécessaire pour le WiFi dépend de la variante choisie, mais

est en général plus élevé que pour LoRa. La technologie WiFi est locale et dépend uniquement des antennes installées sur places. La marque intelligente SmartBow [5], [9] utilise le WiFi pour sa connectique.

- Plusieurs variantes de technologies locales, comme le Bluetooth ou le Zigbee, sont disponibles. De façon générale, elles proposent des débits plus faibles que le WiFi, mais bien suffisant pour transmettre même en temps réel des données générées par le type de capteurs embarqués sur des marques intelligentes. Puisqu'il s'agit de technologies à courte portée (ordre de grandeur 10 à 50 mètres), ce type de réseau est forcément local et demande l'installation d'un système d'antennes. La marque intelligente Ceres Tag [15] utilise le Bluetooth pour la transmission de données et la mise à jour du micrologiciel embarqué lorsque la marque est à l'intérieur d'un bâtiment et un réseau SATCOM (voir ci-dessous) lorsque la marque est à l'extérieur.
- Les réseaux de type 3G, 4G/LTE ou 5G peuvent également être utilisés. Les avantages de tels réseaux sont clairs : ils sont déjà existants, résilients et offrent des débits supérieurs aux besoins. Le volume de données générées par des capteurs typiques de marques intelligentes est bien en-deçà des débits typiques de ces technologies, prévues pour la transmission de gros paquets de données en un temps très court (voir par exemple [44]). Lorsque le service est faible ou inexistant, comme ça peut l'être par exemple dans des régions agricoles de montagne, des répéteurs locaux peuvent être également installés. Le système irlandais Moocall utilise ces connexions pour leur marque [45].
- Les réseaux présentés ci-dessus, qu'ils soient locaux, c'est-à-dire ceux exploités par un privé, ou commerciaux, exigent que des infrastructures permanentes ou semi-permanentes. Les réseaux commerciaux globaux de télécommunication par satellites (SATCOM) se libèrent des contraintes d'infrastructures. Dans certaines parties du monde, comme dans les vastes fermes d'Australie ou du Brésil, mais aussi potentiellement dans certaines régions de la Suisse où aucun réseau commercial n'est atteignable (par exemple dans certaines régions de montagne), les SATCOM sont la seule alternative viable. Un message SATCOM requiert plus d'énergie puisqu'il doit être envoyé jusqu'au satellite et est également cher. Ces deux points imposent un nombre de messages par jour limité (de l'ordre d'une dizaine) et peu de contenu (comme pour LoRa). Les messages envoyés par SATCOM transitent ensuite par les stations au sol des opérateurs et sont chargés sur les serveurs centraux de la marque auriculaire. Ces services seront donc plus orientés vers les technologies cloud, même si certains fabricants offrent le rapatriement voire le déplacement des données sur les ordinateurs des exploitants agricoles. Les SATCOM ne fonctionnent pas, en général, lorsque l'antenne est à l'intérieur d'un bâtiment. Pour assurer une couverture permanente, il faut également un système de communication d'intérieur ou un répéteur. La technologie Ceres Tag [15] transmet ses données par SATCOM lorsque le bétail est à l'extérieur et Bluetooth lorsqu'il est à l'intérieur, mais indique que des répéteurs SATCOM sont possibles. A noter qu'une solution SATCOM suisse pour l'IoT existe déjà en l'entreprise Astrocast [46] (bien qu'elle ne soit pas encore utilisée par des fabricants de marques intelligentes).
- D'autres systèmes, par exemple des LED (de petites lampes attachées à la marque), peuvent être montés en soutien ou en redondance d'autres systèmes. Certaines marques utilisent ces systèmes pour aider à la localisation des animaux ou pour signaler des alarmes de fonctionnement ou de santé. Ce système ne permet pas de communiquer de données, mais permet le signalement visuel de la position, de problèmes ou d'alarme. Les systèmes Ceres Tag [15] ou Fever Tags [47] utilisent des LED en redondance.

On le voit, il y a beaucoup d'options pour assurer la connectique d'une marque intelligente. Toutes les options présentées ont été utilisées par des systèmes déjà commercialisés. Les options doivent donc être évaluées dans les conditions d'utilisation helvétiques. Les unités d'élevage suisses, qui sont plutôt extensifs et qui mettent une partie des animaux à l'alpage l'été, ont donc besoin d'une solution qui puisse fonctionner à l'intérieur des étables comme à

l'extérieur. En plaine, la couverture des réseaux commerciaux est très bonne, mais en montagne ou dans certaines parties encaissées du territoire, la couverture est typiquement moindre (voir par ex. les cartes dans [42]). Les marques fonctionnant en Suisse doivent donc profiter d'une couverture en tout temps, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Des systèmes commerciaux avec une extension locale possible (par exemple LoRa) ou extérieurs avec un système intérieur efficace (par exemple SATCOM + répéteur ou Bluetooth) s'y prêtent particulièrement bien. Lorsque les animaux sont à l'alpage et restent à l'extérieur, elles ne sont que très rarement à l'intérieur de bâtiments, limitant fortement le besoin pour des connexions intérieures dans des endroits avec des infrastructures limitées.

6.3.6 Energie

Les marques intelligentes sont par la définition qu'on en a fait (section 4.1) actives. Un objet actif a besoin d'une source d'énergie. On a d'ailleurs déjà donné des exemples de sous-systèmes des marques intelligentes qui sont gourmands en énergie : certains senseurs, la localisation ou la connectique. Les besoins en énergie dépendent fortement du choix des capteurs et de la connectique. On fera grâce au lecteur des calculs du budget énergétique, mais on soulignera que ceux-ci évoluent rapidement puisque le domaine des objets connecté connaît une croissance importante. On peut s'attendre à des développements de technologies toujours moins gourmandes en énergie (par exemple pour une évaluation pour la connectique, voir [48] et ses références). De la même façon, les technologies de récolte d'énergie (EHT) et de batteries sont également en train de s'améliorer (par exemple pour les EHT pour des applications proches de wearables, objets portables [49]). Ces technologies de récolte d'énergie sont nombreuses [50]. On signalera ici quatre classes de technologies intéressantes dans notre contexte :

1. La transformation de la lumière en énergie via des panneaux solaires. Cette technologie est bien connue pour des applications à des échelles plus grandes, mais les petits panneaux solaires peuvent être particulièrement bien adaptés pour des objets connectés, comme des marques intelligentes. Evidemment ces panneaux rechargent une batterie qui permet de fournir de l'énergie durant toute la journée. La durée de vie typique de ces batteries est d'environ 10 ans [15].
2. La récupération de l'énergie cinétique par des systèmes proches du mécanisme des montres automatiques ou de l'énergie thermique dégagée par les animaux. Ces systèmes sont très intéressants mais la densité d'énergie est trop faible pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement.
3. L'exploitation de la chaleur dégagée de l'animal. En utilisant la différence de température entre l'animal et l'air ambiant, de l'énergie peut être récoltée. Malheureusement, là aussi, la densité d'énergie disponible est trop faible.
4. Il ne s'agit pas à proprement parler d'EHT, mais les transferts d'énergie sans câble se développent rapidement [51]. Ces transferts permettent de recharger des batteries à distance lorsque que la batterie est à portée. Cette technologie exige évidemment des antennes au sol pour la transmission point-à-point d'énergie, donc une infrastructure au moins semi-permanente au sol avec une source d'énergie. C'est une technologie très prometteuse, mais qui commence à arriver sur le marché via, par exemple, des recharges de téléphones. Dans ce cas précis, les téléphones sont très proches (quelques centimètres au maximum) de la borne et statique, ce qui ne serait pas le cas des animaux.

On peut sanctionner les technologies de récolte d'énergie d'autonome, car il n'y a pas de batterie ou de pile à remplacer régulièrement. Il faut néanmoins admettre que les EHT ne sont pour la plupart qu'émergentes. A ce jour, seuls les panneaux photovoltaïques sont utilisés commercialement pour comme source d'énergie (par ex. les marques de mOOvement

[16] et Ceres Tag [15]). Certains choix de capteurs, connectique et contrôleurs impliqueront des demandes en énergies supérieures à ce que les technologies de récolte peuvent proposer. Des batteries ou des piles sont alors utilisées pour assurer les besoins en énergie. Certains fabricants promettent des durées d'utilisation des batteries longues (de l'ordre de 5-6 ans pour le système de DigitAnimal [52], mais il faut noter que ce système est un collier et pas une marque auriculaire, ou entre 1 à 2 ans pour SmartBow [5]). Les batteries et les piles constituent pour les fabricants l'option privilégiée de source d'énergie pour l'instant. Cette technologie est en effet maîtrisée et les performances à long terme validées commercialement. Elle a en revanche un désavantage certain : sa durée de vie limite impose un voire plusieurs remplacement(s). Selon les espèces et les nombre de remplacements pendant la vie de l'animal peuvent s'avérer logistiquement trop lourd, voire dangereux.

La source d'énergie est un sous-système central des marques intelligentes. Bien qu'il existe des technologies de recharge à distance des batteries, celles-ci ne sont pas encore matures pour une utilisation commerciale. Les piles soient de plus en plus performantes certes, mais il est peu probable que des durées de vie très longues (de l'ordre de plus de 10 ans) soient atteintes par du matériel commercial prochainement. Deux variantes s'offrent alors : des piles avec des manipulations de remplacement ou des mini-panneaux solaires qui rechargent des batteries. Pour qu'une décision soit prise en toute connaissance de cause, les performances des panneaux solaires sous les conditions climatiques suisses doivent être mieux évaluées. Des tests préliminaires dans des conditions d'ensoleillement difficiles ont commencé et s'avèrent positifs [15], mais il est encore trop tôt pour considérer cette option comme définitivement viable sur le long terme ; des tests dans les conditions locales s'avèrent indispensables.

6.3.7 Identifizierung

Pour que le journal de sortie soit juste, il faut que les mesures soient exactes mais aussi que les individus soient identifiés de façon claire et unique. Ceci de façon physique – s'assurer que la mesure se fasse sur le bon individu – et immatériel – s'assurer que les données reçues et enregistrées soient associées au bon individu dans la bonne unité d'exploitation et la bonne catégorie.

Dans les sections précédentes on n'a pas vraiment prêté une grande attention au type de marque intelligente : en bolus, auriculaire, en collier, ... On a noté à la section 6.3.3 que les bolus ne sont pas les mieux adaptés puisqu'aucun des fabricants de bolus intelligent consultés ne propose de localisation. Les colliers permettent une masse plus grande de l'instrument et surtout un volume plus grand. Ils sont donc plus simples à concevoir. Cependant, ils sont aussi faciles à enlever et à échanger. L'identification individuelle ne peut donc pas être garantie. Les marques auriculaires intelligentes restent en permanence sur l'animal. Elles peuvent certes être perdues, mais on peut garantir qu'elles ne soient pas échangées. Une marque auriculaire comme celle de Ceres Tag [15] qui peut prétendre à la certification ICAR, et qui va la demander, assure l'identification officielle avec la même rigueur que les marques d'identification officielles actuelles.

Les marques intelligentes qui prétendent à la certification ICAR doivent être uniques à un animal. Elles ne peuvent pas être réutilisées. D'autres peuvent être réutilisées et transférables entre les animaux. Pour un journal de sortie électronique, l'identification individuelle doit être garantie et la marque ne doit pouvoir être transférable. On peut imaginer de recycler une partie des composants par le fabricant ou un organe de contrôle, mais pas par l'éleveur.

On ne peut pas garantir une sécurité à toute épreuve, mais qu'elle soit haute avec une bonne politique de sécurité des données et en suivant les bonnes pratiques de la branche (voir section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Le couplage de ces données avec la base de données sur le trafic des animaux (BDTA) pour l'identification unique des animaux renforce la sécurité du système. Un effet collatéral de ce couplage est qu'une majorité des annonces d'arrivée et de départ seraient rendues obsolètes : on pourrait

connaître la position des animaux presque en temps réel, – ce qui a des avantages administratifs et épidémiologiques certains, – à condition bien sûr de respecter les principes de protection des données (la section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** discute ce point plus en profondeur).

L'identification des individus avec des marques intelligentes, idéalement auriculaires, peut donc être assurée dans l'optique d'un journal de sortie électronique.

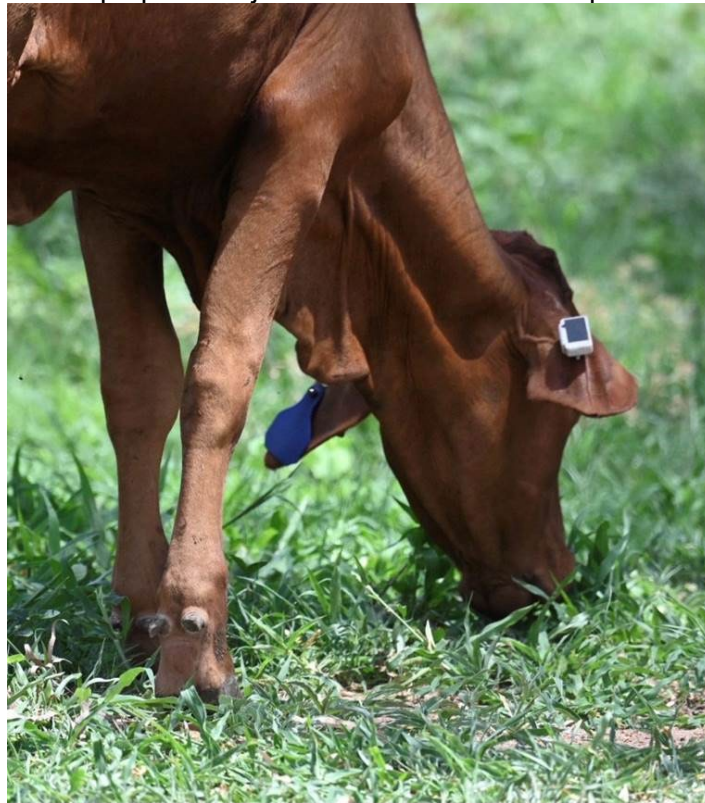


Figure: La marque auriculaire intelligente de Ceres Tag [15] fonctionne grâce à de petits panneaux solaires et garantit l'identification unique de l'animal. Source : Ceres Tag.

6.3.8 Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Le logiciel de gestion et d'analyse des marques intelligentes est important. C'est ce que l'éleveur va utiliser au quotidien pour surveiller son troupeau. Les informations doivent pouvoir être consultables depuis un ordinateur de bureau, mais aussi depuis des tablettes et des smartphones pour s'adapter à toutes les conditions. Si le logiciel n'est pas intuitif et simple d'accès le risque est grand de perdre l'intérêt des éleveurs qui font peiner à voir les nombreux aspects positifs d'une marque intelligente. On peut écrire beaucoup de critères pour l'implémentation d'un logiciel de gestion. En voici quelques-unes tirées des réflexions à l'échelle européenne 4D4F [53] d'un collectif d'acteurs du secteur et financé en partie par des fonds de recherche européens Horizon 2020. Ces critères s'appliquent pour un logiciel de gestion d'une marque intelligente complète et pourraient être relaxés si un logiciel spécifique pour le journal de sortie devait être établi.

- L'état actuel des paramètres doit être clairement résumé par un statut pour assurer une vue d'ensemble. Cela peut évidemment se faire de plusieurs façons et est dépendant des paramètres mesurés.
- Les historiques des paramètres dans des formats pratiques aident à la compréhension et la vérification des alertes, à la surveillance du troupeau et à la vérification des résultats. Ici on pense notamment à un historique par jour d'un journal de sortie pour chaque individu, pour que l'éleveur puisse, s'il le souhaite, comprendre les résultats mensuels individuel ou du troupeau.

- Des alertes et des notifications sont générées selon l'état de santé détecté de l'animal. Ces alertes doivent pouvoir être relayées par des canaux tels que des SMS ou des notifications sur un smartphone. Le taux de fausses alertes doit être néanmoins limité au minimum. Un haut taux de fausses alertes réduit rapidement et durablement la crédibilité du système (voir section 4.14).
- Des informations à tous les niveaux doivent être accessibles : au niveau de chaque animal individuellement doivent pouvoir être consultés de façon intuitive (avec un graphique par exemple), mais aussi au niveau du troupeau pour identifier les tendances. Des analyses doivent pouvoir être conduites à ces deux niveaux (section 4.4).
- La possibilité de partager certaines informations avec des parties tierces est intéressante. Les données de santé et de bien-être renseignent à distance le vétérinaire qui n'aurait pas forcément besoin de se déplacer, mais pourrait confirmer ou infirmer certains diagnostics automatiques tout en surveillant l'état général du troupeau. Les données simplifiées de positionnement envoyées à la BDTA allègent le travail administratif des éleveurs. Finalement, les organes de contrôles peuvent surveiller à distance, automatiquement et sur une durée plus longue les unités d'élevages. Les contrôles sur place pourraient être mieux ciblés, là où les données sont incertaines ou révèlent de mauvaises pratiques.

Le maître-mot de l'implémentation de ces logiciels doit rester la simplicité. Cela n'implique pas que des analyses complexes ne peuvent pas être faites ou même montrées, mais qu'un effort particulier doit être développé dans l'interaction et l'expérience de l'utilisateur. Les résultats compliqués peuvent être catégorisés pour en simplifier la lecture et l'accès aux résultats complets et à toutes les options proposées aux utilisateurs avancés. Il ne s'agit pas de devoir transformer l'éleveur en expert des données animales pour qu'il puisse tirer des enseignements du logiciel. A l'opposé, il ne faut pas cacher les informations. Il s'agit plutôt de consolider les résultats pour montrer la bonne information à la bonne personne au bon moment.

Ces plateformes sont typiquement développées par les fabricants et sont fermées. C'est-à-dire qu'il faut passer par le fabricant pour développer de nouvelles fonctionnalités. L'avantage d'un tel mode de fonctionnement est que ces nouvelles fonctionnalités seront bien intégrées à la plateforme et celle-ci garde une certaine unité. Le désavantage est le délai d'attente voire le refus d'implémenter certaines fonctionnalités. On peut penser ici à l'interopérabilité des systèmes qui n'est pas forcément à l'avantage économique des fabricants. La plateforme de Smartbow de Zoetis est fermée et remplit plusieurs des critères cités ci-dessus de façon satisfaisante [5], [9]. D'autres plateformes fermées proposent plus de fonctionnalités, comme des diagnostics automatisés avancés avec le système Ida de Connecterra [29]. A l'opposée, la plateforme de Ceres Tag [15] se veut ouverte. Le fabricant proposera un noyau sur lequel chacun peut rajouter ses modules et les proposer à d'autres. Ces modules d'analyse ou de présentation des données peuvent être développés par des entreprises à but commerciales, des universités ou des institutions comme des organes de contrôles.

Les exigences logicielles pour un journal électronique de sortie ne sont pas les mêmes que pour un logiciel de surveillance de la santé et du bien-être du troupeau. Pour mettre sur pied ce journal, les données des marques intelligentes doivent au moins pouvoir être récupérées avant d'être traitées par un module spécifique. Cela exige au moins l'interopérabilité avec des systèmes tiers pour les plateformes fermées, mais les plateformes ouvertes, c'est-à-dire qui autorisent des modules développés par des tiers sont plus adaptées.

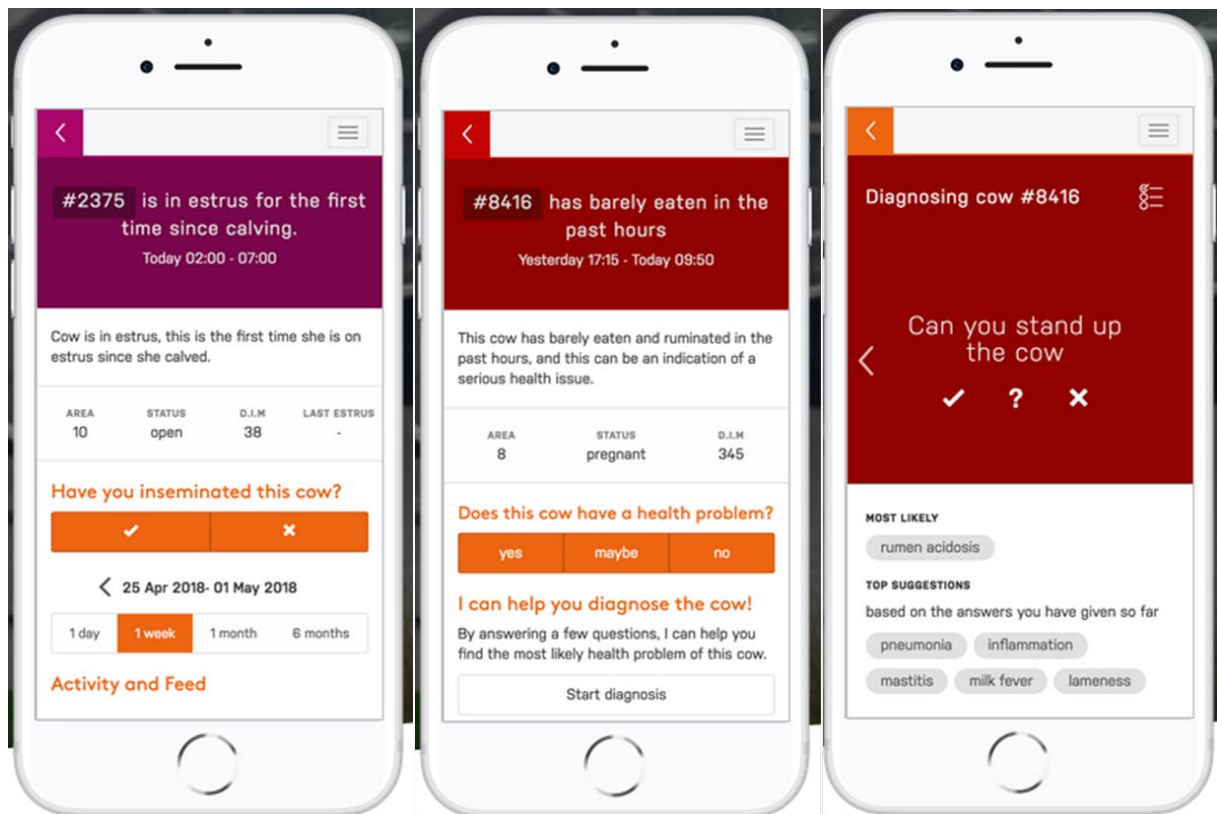


Figure: Un exemple d'interface graphique avec résultats de l'analyse basée sur l'intelligence artificielle du système Ida. (Source : Connecterra).

6.3.9 Datenschutz

La sécurité et le contrôle des données sont des aspects importants. Bien que les marques intelligentes mesurent des données animales, elles sont intimement liées aux humains qui s'en occupent. Les informations générées par des marques intelligentes comprennent des données sensibles révélant où se trouvent les animaux presque en temps réel, mais aussi des informations qui peuvent être utilisées comme des proxys de l'activité humaine. Ces informations peuvent être utilisées à des fins louables, comme de certifier l'accès à des labels et l'assurance de la santé et du bien-être animal, mais elles peuvent également détournées pour des buts criminels ou uniquement et purement commerciaux. Ces activités saperaient les efforts positifs en diminuant drastiquement la crédibilité du système, même si l'exactitude et le bien-fondé des analyses sont démontrées.

Plusieurs mesures peuvent être appliquées pour limiter les risques dans le contenu. En premier lieu, il s'agit de suivre les bonnes pratiques en termes de sécurité des données et des réseaux (il existe de nombreuses références, [54]), comme par exemple encrypter les messages, déterminer et implémenter des processus stricts d'accès, stocker les informations dans des bases de données sécurisées. Des mesures proactives simples peuvent être implémentées. Le lecteur intéressé se tournera vers [55] pour une discussion de fond et des exemples pratiques. Dans la suite, les pratiques que les auteurs considèrent les plus importantes sont succinctement présentées :

- Les identifiants des marques auriculaires ne sont que des pseudo-identifiants. Au lieu de transmettre le numéro d'identification BDTA de l'animal comme identifiant de la marque, chaque marque aura son propre identifiant. Celui-ci sera relié à l'identifiant officiel que par des services ou offices autorisés. Ce scénario n'empêche pas les analyses, mais procure un certain degré d'anonymat. Ce type d'analyse à l'aveugle est courant dans les sciences et ne demande pas beaucoup d'infrastructure : il suffit

de d'avoir un registre (sécurisé et régulièrement copié pour sauvegarde) pour retrouver la signification des pseudo-identifiants.

- Le contenu des données transmises et/ou sauvegardées doit être étudié et un compromis trouvé entre trop peu d'information, ce qui limite les capacités des analyses secondaires et toutes les données brutes, qui posent un certain risque plus élevé en plus des problèmes de stockage évoqués à la section 4.4. Seuls les résultats d'analyses pourraient être conservés ou les données pourraient être généralisées ou agrégées, par exemple en catégorisant les données.
- Le flux d'information peut être contrôlé. On ne laisse pas n'importe quelle information transiter par n'importe quel réseau et on impose un contrôle d'accès strict aux utilisateurs, avec des permissions de lecture qui peuvent évoluer selon le niveau de traitement des données. Un exemple : seul les éleveurs et le fabricant ont accès aux données brutes. Les organes de contrôle n'ont accès qu'aux résultats des analyses et ne leur est transmis uniquement les informations nécessaires.
- La possibilité de supprimer les données des serveurs centraux, pas seulement de les « privatiser », limite fortement les risques de fuite de données sensibles, mais peut s'avérer pénalisant pour toutes les parties puisque des ré-analyses et des méta-analyses ne seraient possibles que de façon réduite. Il y aurait probablement un effet limitant sur l'efficacité des marques intelligentes puisqu'elles ne seraient pas utilisées au maximum de leur potentiel. Si le traitement à bord des marques intelligentes est très bon et ne demande pas de retraitement par la suite, cette variante est une pratique possible.

Ces mesures ne vont pas garantir que les données soient parfaitement protégées, mais diminuer le risque d'identification des unités d'élevage par des attaquants et réduire la masse d'information disponible. Des points de données ne sont jamais purement anonymes, car recoupé avec suffisamment d'autres informations et indices, les identités peuvent être découvertes. Pour une discussion en profondeur, le lecteur est à nouveau redirigé vers [55].

Le degré d'implémentation de ces diverses mesures est à discuter avec les fabricants. Les premiers contacts avec Ceres Tag [15] ont montré qu'il est tout à fait envisageable d'adapter au moins certaines des procédures des fabricants aux exigences locales de façon simple et transparente. Il faut noter toutefois que plusieurs des parties impliquées dans le domaine des données de marques intelligentes se positionneront pour obtenir le maximum de données afin d'exploiter au maximum les capacités de cette technologie encore émergente. Les mesures prises peuvent également changer avec le temps. Au début, lors de la phase de développement des outils d'analyse et de surveillance, il est important de disposer du maximum d'information possible. Une fois les informations clefs déterminées, le dispositif de protection peut être adapté pour optimiser le compromis sécurité/utilité.

Le degré de contrôle sur les données sera également un point important. Il s'agit de trouver l'équilibre entre des données contrôlées entièrement par des entités commerciales, des organes étatiques ou privés de contrôle et les éleveurs. La notion de contrôle contient le problème des accès. Quels acteurs peuvent faire quelles actions sur les données : est-ce que l'éleveur a seulement le droit de consulter ses données brutes, les révoquer ou les privatiser (au sens de limiter ses utilisations) ? Quels sont les permissions accordées aux fabricants et aux utilisateurs ? L'accès aux données brutes est-il permis ou seulement l'accès aux résultats ou aux données agrégées ? Qui a le droit de donner quel accès à qui ? Le contrôle des données est lié à leur protection, mais la relation n'est pas forcément simple : ce n'est pas parce qu'un éleveur a le contrôle complet (donc il peut les supprimer) sur les données qui sont générées par son matériel qu'il les protégera bien. Le fabricant ou l'organe de contrôle prendra probablement plus grand soin de la protection des données puisqu'ils peuvent

mettre en place les solutions les plus récentes à grande échelle. Certains fabricants de marques intelligentes proposent de stocker les données sur des serveurs centraux, mais en laissant le contrôle des données à leur client, donc les éleveurs qui utilisent leur technologie (notamment [15]). Cette option laisse le choix aux éleveurs de supprimer leurs données ou de rendre les données inaccessibles au fabricant et/ou aux développeurs d'algorithmes. Un exemple de solution est le système Barto qui donne au paysan le choix de qui peut accéder aux données. L'utilisateur du système est en plein contrôle puisqu'il peut donner accès, le révoquer et supprimer des données.

La question du degré de contrôle par les différents acteurs est délicate. La solution retenue sera nécessairement un compromis entre plusieurs points de vue et besoins. L'organe de contrôle a besoin d'au moins pouvoir consulter les résultats des analyses (et de connaître les algorithmes qui les génèrent) et les éleveurs doivent au minimum pouvoir consulter les données qui ont été générées par leur matériel et les résultats des analyses pour garantir un traitement impartial des cas et le suivi du règlement général sur la protection des données européen (GDPR, règlement no 2016/679). De bonnes pratiques à suivre en termes d'échange de données agricoles sont résumées dans [56]. La Data Science Alliance, propose également un code éthique pour l'utilisation des données qui est tout à fait applicable à ce contexte [57].

Il faut toutefois noter que les données qui traitent uniquement des animaux ne sont pas à considérer comme sensible (voir par exemple les présentations [58] ou [59] à des événements qui traitent de digitalisation et de droit agricole), mais ce qui a trait aux humains qui s'en occupe oui. Une protection efficace des données et leur utilisation raisonnée, au-delà de l'aspect juridique, est essentiel à l'acceptation de la technologie par tous (voir 4.14).

6.3.10 Kontrollierbarkeit

Le contrôle des résultats par les organes de contrôles doit s'effectuer sur plusieurs axes : contrôle du bon fonctionnement des marques intelligentes et vérification qu'il n'y a pas de fraudes physiques ou informatiques.

Le bon fonctionnement des marques intelligentes est contrôlé par le fabricant de manière générale. Les contrôles de performances ponctuels peuvent être effectués pour vérifier certains lots particuliers de marques et l'effet du vieillissement et du climat sur les performances, notamment de localisation. On notera que les systèmes GNSS sont surveillés au niveau suisse par le réseau AGNES de Swisstopo [60].

Le contrôle des fraudes physiques reste, pour des marques auriculaires, relativement simple : la marque est fixée à l'animal. Les contrôles sont similaires à ceux pour les marques auriculaires d'identification. Si le système de localisation fonctionne par antennes locales, il faut s'assurer que les antennes n'ont pas été déplacées ou posées de façon trop avantageuse pour l'éleveur et que les définitions des aires de stabulation voire d'exercices soient correctes. Les emplacements des installations originales des antennes doivent donc être enregistrés dans un registre central ou sur une certification qui reste possession de l'éleveur. Les poses doivent être faites par des techniciens indépendants de l'unité d'élevage.

Les fraudes informatiques exigent une connaissance en profondeur du système et des outils utilisés. Elles sont possibles, mais avec une faible probabilité. Le suivi des règles de sécurité des données et des bonnes pratiques de la branche encore limite fortement cette probabilité (voir section 4.9).

Le système complet de marques intelligentes est contrôlable, y compris dans le cadre d'un journal de sortie. Certaines mesures doivent être prises, comme répertorier les emplacements des antennes locales, pour assurer un contrôle complet. Le contrôle sur le terrain

reste tout à fait possible : les unités d'élevage peuvent être visitées et les résultats des contrôles comparés aux résultats des marques intelligentes. En cas de désaccord ou d'erreurs, le risque est que la responsabilité ne soit pas facilement attribuable aux fabricants, aux éleveurs ou aux tiers impliqués et qu'ainsi les procédures soient rallongées et plus compliquées.

6.3.11 Kosten

Les coûts de développement d'un système de journal de sortie électronique seront importants quel que soit la solution retenue pour être sûr que le système soit efficace et robuste. L'utilisation des marques intelligentes comme instrument de mesure permet de réduire les coûts de développement puisque l'identification est garantie et le système de localisation est déjà à un bon niveau. Le développement des marques intelligentes est supporté en grande partie par les fabricants et des programmes gouvernementaux dont les buts premiers sont la santé et le bien-être animal, ainsi que la traçabilité de denrées alimentaire. Cette option permet donc de réduire les coûts de développement et d'installation en trouvant des synergies avec des partenaires publics-privés. Les coûts d'exploitation vont dépendre de la marque intelligente précise choisie parmi les nombreuses variantes des sous-systèmes décrits ci-dessus.

Dans la suite, on va détailler les ordres de grandeur des coûts de développement et d'exploitation. A défaut d'établir un budget détaillé, on citera au moins les positions les plus importantes.

6.3.11.1 Kosten beim Entwickler, technisch

Les coûts de développement et techniques sont importants si le point de départ du projet est une feuille blanche. Les marques intelligentes les plus avancées disponibles commercialement ont été suivies par des grands groupes comme Zoetis pour Smartbow [9] ou par un partenaire public-privé entre institutions de recherche, organes gouvernementaux et investisseurs privés, comme pour Ceres Tag [15] ou Ida [29]. Il s'agit d'un projet de recherche et industriel important, ce qui bien-entendu est répercuté sur le volume des investissements nécessaires. Ces investissements exigent au minimum plusieurs millions de francs suisses pour passer du stade de projet à celui de marque commercialisable.

Si le projet de journal de sortie électronique se construit sur des marques intelligentes déjà en développement ou commercialisées, il s'agira de s'assurer de concert avec le(s) fabricant(s) de leur interopérabilité avec les systèmes des organes de contrôles et des tierces parties éventuellement nécessaires. Les coûts de cette étape dépendront de l'écosystème logiciel des fabricants et la facilité de l'intégration des modules nécessaires au journal électronique.

Ces modules à installer dans les logiciels de gestion devront être développés avec les fabricants, mais demanderont certainement d'au moins de l'ordre de 2 à 3 années de travail équivalent temps plein entre les premières séances de définitions et la mise en ligne d'outils éprouvés.

Les coûts de gestion se concentreront en quelques positions : la maintenance des infrastructures et l'amélioration continue du système (par de nouveaux algorithmes ou paramètres), voire l'intégration de nouvelles marques intelligentes plus performantes ou mieux adaptées.

6.3.11.2 Kosten für den Bauer

L'acquisition des marques intelligentes est certainement une position importante pour le budget d'un utilisateur. Le coût actuel des marques intelligentes dépend du modèle économique du fabricant. Certains proposent de vendre la marque et facturent les télécommunications et le téléchargement d'algorithmes poussées (par ex. Ceres Tag [15] ou Smartbow [9], [61]). D'autres louent les marques au mois ou à l'année (par ex. le système Ida [29]). Quel que soit le modèle choisi, une marque coûte cher, de l'ordre de la centaine de francs par marque intelligente, et l'installation des infrastructures peut facilement doubler le prix de la marque. Là encore, des estimations précises seraient hasardeuses puisqu'elles devraient prendre en

compte le choix des variantes de télécommunication, mais dans le pire des cas (des communications locales uniquement), il faut compter plusieurs milliers voire une dizaine de milliers de francs d'installation.

Les frais d'exploitations sont cependant limités pour les marques qui s'achètent et qui ne se louent pas. Il s'agit peut-être de changer les batteries, de s'assurer que les réseaux de télécommunications (avec les marques et les connexions extérieures) soient en bon état et de les alimenter en énergie (ce qui peut se faire par des énergies locales, comme des panneaux solaires pour s'affranchir des contraintes topologiques des réseaux).

Une marque intelligente efficace et simple d'utilisation réduit le temps de travail des utilisateurs et, plus généralement les traitements puisque le suivi est plus rigoureux, comme le montre plusieurs études scientifiques (voir [62], [63], [64] ou [65] et ses références) et des récits anecdotiques [66]. La qualité des données pour la transparence et la documentation sont également améliorées. Ces facteurs (temps de travail réduit, état des données et documentation) contribuent à réduire le coût des marques intelligentes. De plus, la digitalisation du journal de sortie et les probables annonces automatiques à la BDTA réduisent également la charge administrative.

Dans le cadre d'un journal de sortie, une approche basée sur le troupeau et non pas sur l'individu pourrait suffire. Au lieu de suivre chaque animal dans le troupeau, on en sélectionne qu'une partie qui porteraient des marques. Ces animaux « sentinelles » seraient représentatif du troupeau et ainsi limiteraient le nombre total de marques par troupeau et donc les coûts. La fraction d'animaux qui devraient porter les marques est très dépendant du système et de ces performances, on s'abstiendra donc de toute estimation. Les bases légales pour un suivi par troupeau ou d'individus sentinelles seulement doivent être néanmoins éclaircies.

Il faut également noter que les marques intelligentes ne sont pas encore particulièrement répandues dans les exploitations. Des chiffres précis ne sont pas disponibles sur l'état de la digitalisation en Suisse, mais environ 1'000 robots traiteurs sont utilisés dans des exploitations laitières (état mi 2019, [67]) pour un peu moins de 20'000 producteurs (état 2018 [68]) et de l'ordre de la centaine de systèmes sont employés (correspondances privées, 2020, SwissGenetics). Fin 2017, un sondage auprès de 92 agriculteurs en Allemagne a révélé qu'environ 13% des éleveurs sondés avait un logiciel de gestion du troupeau (et 8% voulaient en acquérir un), mais que seul 8% utilisaient des technologies de surveillance du comportement (et 5% voulaient acquérir un système) [69]. On se trouve encore dans une phase initiale de la commercialisation des marques intelligentes. C'est donc une chance pour lancer des projets innovants comme un journal de sortie électronique.

6.3.12 internationale Erfahrungen

On l'a déjà mentionné, les marques intelligentes se développent particulièrement dans des pays qui ont des méga-fermes de centaines d'hectares et beaucoup d'animaux, car la surveillance humaine de chaque individu n'est pas possible. C'est notamment le cas en Australie avec la marque de Ceres Tag [15]. Le lecteur attentif l'aura remarqué : l'Europe n'est pas en reste. Plusieurs solutions innovantes ont émergé. Plusieurs organismes avec des fonds de recherche européens (et donc également en partie suisses) participent à leur développement et leur validation comme le programme IoF2020 [24] et Smart Agri Hub [70]. Les premiers tests à grande échelle ont commencé et montrent déjà des effets positifs en matière de temps de travail, de santé et de bien-être (voir les « uses cases » des différentes plateformes pour plus d'information). Les marques intelligentes ne sont pas juste un effet de mode ou des gadgets nés d'un ingénieur en mal de projet : elles se développent rapidement, tant au niveau matériel que logiciel [13].

Un des uses cases d'IoF2020 est d'explorer la possibilité de déterminer si une vache laitière est au pâturage ou à l'intérieur [71]. Les résultats ne sont pas encore connus, mais une exactitude sur la position (dans/dehors) de 85% est attendue. La localisation se fait avec un GPS et la communication par Bluetooth. Ce degré d'exactitude sera un point de discussion important : quel seuil d'exactitude est acceptable ?

6.3.13 weitere relevante Informationen

Les marques intelligentes sont conçues pour être robuste. Par exemple, la marque intelligente porcine FITPig développée par le CSEM a été développée pour être résistantes aux morsures, à l'humidité et aux variations de températures. Les fabricants de marques intelligentes pour bovin prennent les mêmes précautions pour incorporer les capteurs et l'électronique dans des boîtiers suffisamment protecteurs. Néanmoins, les conditions d'utilisation des marques intelligentes et les dégradations de l'électronique vont limiter sa durée de vie. Ce point n'est pas à sous-estimer. L'expérience sur le terrain seulement montrera si les protections de l'électronique sont suffisantes.

La durée de vie de tels systèmes n'est pas connue empiriquement puisque les marques commerciales n'ont pas encore été utilisées aussi longtemps. Il paraît raisonnable en revanche de faire l'hypothèse que les prédictions des fabricants tiennent. En Suisse et en 2019, l'âge de mort médian des bovins est 1 an et 95% sont morts avant 10 ans (source : BDTA). La plupart des animaux ont donc une espérance de vie inférieure à la durée de vie des marques intelligentes. Pour une minorité d'animaux, les marques devront être remplacées.

Les dimensions et le poids des marques intelligentes varient bien sûr en fonction de leur type : des marques auriculaires seront plus petites que des colliers. Les marques auriculaires qui ont été discutées dans ce chapitre ont des poids variant entre environ 15 gr pour les plus simples [47] à environ 40 gr [15] pour les plus sophistiquées. L'enveloppe des dimensions est proche de celle des marques plastiques, bien qu'évidemment, les marques intelligentes sont plus épaisses que les marques classiques. Des études sur l'effet des marques intelligentes sur la santé et le bien-être sont nécessaires pour s'assurer que ces marques ne créent pas de problème de santé comme des infections.

Dans le domaine des capteurs intelligents pour les cultures, une étude récente [72] a révélé que les préoccupations des scientifiques et ingénieurs qui développent et travaillent avec ces capteurs sont principalement liés à la consommation énergétique, la difficulté à analyser les données, d'intégrer des données venant d'autres fabricants et à maintenir le réseau de communication.

6.3.14 Akzeptanz

Les marques intelligentes ne sont pas un nouveau concept. La technologie s'est développée pour atteindre aujourd'hui des performances promises pour les fabricants d'un niveau suffisant pour plusieurs applications. La surveillance sanitaire et du bien-être du troupeau sont les tâches citées en premier comme « use cases ». Ces tâches de surveillance requièrent plusieurs sous-systèmes, notamment la localisation et l'infrastructure informatique, qui sont les bases d'un journal de sortie électronique. Un tel journal basé sur des marques intelligentes n'est donc une nouvelle technologie, mais plutôt un nouveau système qui découle d'une technologie existante. Les éleveurs qui emploient déjà des marques intelligentes ne seront pas surpris et l'introduction d'un système étatique qui se basent sur une technologie qu'ils auront déjà éprouvée renforcera son acceptation. La digitalisation de l'agriculture en général est en bonne marche. Cette digitalisation est supportée par les nombreux avantages qu'elle procure. Un journal de sortie électronique, pour autant que des garanties suffisantes soient démontrées et que son introduction soit accompagnée et raisonnée, n'est qu'un produit parmi d'autres de la digitalisation. Une introduction progressive et volontaire avec une amélioration continue basée sur le retour des utilisateurs impliquera toutes les parties concernées et permettra l'élaboration d'un système qui convient à tous.

Son acceptation par les utilisateurs, soit, principalement, les éleveurs et les organisations de contrôle, va dépendre tout d'abord de trois facteurs principaux :

- L'efficacité est une combinaison de plusieurs critères, notamment le taux d'erreur, une infrastructure raisonnable, le coût et les effets sur le temps de travail. Ces critères ont des relations complexes et des poids différents selon les utilisateurs, même

au sein du même groupe. Néanmoins, il demeure qu'un taux d'erreur bas est un des critères les plus importants. Un taux d'erreur bas se traduit pour une tâche de surveillance en la diffusion d'alerte uniquement lorsque c'est nécessaire et au bon moment. Pour un journal de sortie, il s'agit surtout de mesurer correctement la position de l'animal. Ce point a été discuté dans la section 4.2 : il ne s'agit pas forcément de mesurer juste chaque point, mais plutôt d'avoir un résultat cohérent sur une durée de temps déterminée. L'efficacité englobe bien sûr la diminution effective de la charge administrative, qui si elle ne se démontre pas réduira tout effort pour faire accepter les marques intelligentes.

- Sa facilité d'emploi est un autre facteur prépondérant. Une marque intelligente à bas coût et exacte dans sa mesure n'est pas d'une grande utilité si son utilisation est trop complexe. Si la batterie doit être remplacée chaque semaine ou le logiciel de gestion est obscur, les utilisateurs vont vite être lassés ou frustrés et donc abandonner le système, même s'il fonctionne. Les utilisateurs ne doivent pas être des experts en électronique, informatique et traitement des données pour faire fonctionner le système (pour une analyse au niveau mondial des conditions d'une transition numérique de l'agriculture, voir [73]).
- Les garanties de sécurité protègent l'éleveur dans sa sphère privée et une utilisation raisonnée uniquement des données. On l'a vu à maintes reprises dans toutes les secteurs d'activité digitaux : les fuites de données ou une utilisation malveillante et cachée des données, par exemple à des fins publicitaires, anéantit durablement la crédibilité du système.

L'acceptation d'un journal électronique de sortie basé sur des marques intelligentes sera grande si les performances seront grandes et robustes, mais aussi s'il a été réfléchi et développé avec les parties impliquées pour s'assurer d'une certaine facilité d'emploi. La diminution de la charge de travail est au cœur de la performance. Une marque parfaite techniquement, mais qui crée plus de travail ne sera pas utilisée par la majorité. Si les utilisateurs ont également des garanties de sécurité, alors ce journal de sortie sera une réussite. Une politique de petits pas qui valide les technologies des marques intelligentes et les logiciels construit un système sur des bases solides en intégrant les éleveurs contribue fortement à sa grande acceptation [74].

6.3.15 Machbarkeit

La faisabilité d'un journal de sortie électronique sera discutée dans la présente section. Elle sera illuminée par plusieurs facettes. Des aspects techniques, économiques, temporelles et la sécurité des données seront traités. Il faut noter que les remarques ci-dessous sont susceptibles d'évoluer selon les développements techniques. Comme dans les précédentes sections, on exposera les points importants et communs à toutes les stratégies des fabricants de marques intelligentes.

6.3.15.1 Technische Machbarkeit

On l'a vu tout au long de cette étude, les différents blocs technologiques (la connectique, la localisation, ...) démontrent une certaine maturité et une aptitude importante à remplir les tâches d'un journal de sortie électronique. Néanmoins, il s'agit d'être attentif au fait que des essais dans des conditions réelles vont très probablement révéler des difficultés (on a parlé par exemple à la section 4.2 de localisation et des incertitudes liées) qu'il faudra résoudre. Les entreprises et institutions qui constituent l'environnement de recherche et d'innovation suisse, épaulées par des partenaires internationaux, sont en mesure de relever les défis qui se présenteront.

Il faut distinguer l'implémentation matérielle des marques intelligentes et leur logiciel de gestion des processus informatiques d'échanges de données entre les différents services. C'est l'interopérabilité nécessaires des services. Cet aspect doit être planifié dès les premiers étapes du projet. L'utilisation de standards est recommandée pour réduire les coûts de chacun.

Globalement, plusieurs aspects doivent être testés et validés, mais il semble qu'un journal de sortie basé sur des marques intelligentes soit réalisable.

6.3.15.2 Wirtschaftliche Machbarkeit

Plusieurs sociétés à but lucratif (bien que souvent soutenues par des institutions gouvernementales, – en tout cas dans les premières phases) démontrent la viabilité de proposer commercialement des marques intelligentes. Les marques intelligentes sont dès à présent sur le marché. L'investissement pour en acquérir est encore élevé à ce jour. Il y a plusieurs raisons à ça ; notamment la technologie qui n'est pas encore adoptée par une grande proportion d'éleveurs et donc que le volume vendu est encore relativement faible (voir la section 4.11 pour la discussion complète sur les coûts). Les instruments qui seront utilisés pour la mesure au profit du journal de sorties seront produits en plus grandes séries, et donc moins chers que les produits actuels.

L'investissement majeur pour l'organe de contrôle est la création du module « journal de sortie » qui doit s'intégrer au logiciel de gestion. Ici encore, il s'agit de trouver et d'exploiter des synergies. Un exemple est bien sûr les annonces automatiques de départ et d'arriver dans une unité d'élevage. Un autre exemple pourrait être l'analyse des distributions des troupeaux au pâturage (uniquement pour les marques intelligentes offrant une localisation par GNSS). De tels projets représentent des ajouts majeurs aux processus actuelles plutôt manuelles voire encore sur papier, mais ont de nombreux avantages pour tous, notamment un meilleur suivi (dans tous les domaines) des troupeaux et une charge administrative réduite. Une approche d'ensemble de la digitalisation du suivi de troupeau réduit les investissements nécessaires et donc augmente la faisabilité économique du projet.

6.3.15.3 Zeitliche Machbarkeit

La maturité des marques intelligentes sophistiquées (par exemple la marque Ida [29] qui utilise de l'intelligence artificielle) a atteint un point qui permet leur commercialisation. Les blocs technologies évoqués dans cette étude (surtout la localisation, section 4.2) sont disponibles et plusieurs fabricants proposent des marques qui remplissent bien des critères pour l'instrument de mesure du journal (voir 4.18).

Il ne faut néanmoins pas négliger les essais dans des conditions réelles, les corrections qui en découlent, le développement des logiciels de gestion et l'intégration de ce nouveau système dans les écosystèmes administratifs et informatiques actuels. L'introduction à large échelle d'un journal électronique moins de 3 à 5 ans après le lancement d'un projet paraît excessivement optimiste.

6.3.15.4 Rechtliche Machbarkeit

Les données récoltées concernent uniquement les animaux. Les actions humaines ne sont visibles que par leur effet sur les animaux, et pas directement dans les données. D'un point de vue de la protection des données, c'est un bon processus. Les questions importantes et délicates traitent du contrôle et l'utilisation des données (voir les sections 4.4 et 4.9). Des solutions pragmatiques et simples dans leur implémentation existent pour limiter les risques et empêcher certaines utilisations malintentionnées des résultats. On peut garantir qu'uniquement l'information nécessaire est transmise aux organes de contrôle. Il faudra aussi s'assurer que les fabricants respectent les consignes en matière de sécurité de données qui peuvent être plus strictes en Suisse que dans d'autres pays où ils opèrent.

6.3.15.5 Zusammenfassung Machbarkeit

Un journal de sortie électronique supporté par des marques intelligentes est donc possible à condition de valider les technologies pour la Suisse et de résoudre les problèmes techniques. On l'a vu, les défis ne manquent pas, mais les marques intelligentes sont en train de prendre de plus en plus d'importance dans la digitalisation de l'élevage. Un outil de contrôle officiel efficace et simple basé sur cette technologie soutient le développement de la digitalisation, en particulier lorsqu'il s'agit de mesurer autre chose que des paramètres de santé.

6.3.16 Vor- und Nachteile

Pour éviter au lecteur une longue liste d'arguments, on a choisi ici d'exposer les arguments les plus importants des marques intelligentes qu'on pourra directement comparer avec les autres variantes d'instrument de mesure.

Points en faveur :

- Les marques intelligentes sont individuelles. Un animal peut donc être suivi facilement et les données pour le troupeau résultent d'une simple agrégation des données individuelles.
- Les données collectées ne concernent que les animaux. Il n'y a pas de relevé accidentel d'autres activités proches du troupeau (par exemple, on ne filme pas le troupeau, donc des humains ne sont pas directement suivis).
- De nombreuses synergies sont possibles. Un journal de sortie n'est pas l'application unique des marques intelligentes. Ce n'est pas d'ailleurs même l'application de prédilection. Le journal de sortie est une application dérivée, ce qui réduit les coûts.
- La multitude de marques intelligentes disponibles sur le marché démontre une certaine maturité technologique.

Points en défaveur :

- Les coûts, ou du moins les investissements de développement, restent élevés par rapport à l'état actuel et à d'autres systèmes qui ne sont pas individuels ou pas intelligents.
- Les infrastructures nécessaires au bon fonctionnement du système peuvent être lourdes : antennes pour la connectique, ordinateur de gestion, connexion internet et source d'énergie.
- L'hébergement du système due aux contraintes du système plutôt extensif d'élevage et aux systèmes informatiques sera un frein au développement rapide du système et risque de limiter l'enthousiasme de fabricants qui y verront un risque.

Des solutions existent pour atténuer les arguments en défaveur des marques intelligentes. Globalement, elles sont une solution élégante au problème, car le journal se baserait sur des technologies existantes et profiterait des synergies.

6.3.17 Allfällige Notwendigkeit eines Pilotprojektes

Plusieurs sous-systèmes ont besoin d'être validés dans des conditions réelles. On notera qu'il faut principalement tester la robustesse des marques intelligentes et l'exactitude des relevés de positions dans les diverses situations que connaît l'élevage en Suisse. Les infrastructures nécessaires sont souvent disponibles dans des exploitations de plaine, mais pas forcément pour celles d'altitude.

Des tests sur plusieurs troupeaux sur plusieurs unités d'élevage mettra en avant les forces et les faiblesses des marques testées, mais surtout permettra de mieux juger la faisabilité d'un journal de sortie basé sur les marques intelligentes.

On remarquera que, évidemment, les résultats des tests ne seront pas uniquement une source de données pour ce projet, mais aussi pour les fabricants pour qu'ils améliorent leur produit, pour les institutions de recherche qui travaillent sur les effets de ces marques et les éleveurs qui utilisent déjà ces marques ou qui veulent plus d'information. Des essais, conduits de manière rigoureuse et scientifique, seront donc importants pour toutes les parties concernées et pour la digitalisation de l'élevage.

6.3.18 Umsetzung

Dans cette section, sera présentée deux implémentations possibles d'un journal de sortie avec une marque intelligente qui sera bientôt commercialisée. Le choix de la marque intelligente n'est pas aléatoire et reflète la compréhension du marché par les auteurs. Des efforts raisonnables ont été déployés pour s'assurer que le choix de la marque soit la plus prometteuse. Dans une branche qui évolue rapidement, il n'est pas impossible que la marque choisie ne soit pas la meilleure ou soit dépassée. Néanmoins, les principes décrits restent valides. La structure de la section suivra la structure des sous-systèmes présentés ci-dessus.

6.3.18.1 Localisation globale par GNSS

La marque auriculaire choisie est celle de Ceres Tag [15]. Les raisons de ce choix seront claires dans la suite, mais on peut citer la flexibilité et l'interopérabilité du système. Ce journal de sortie intègre donc les données de Ceres Tag. Ceres utilise des données GPS, précises à l'ordre de quelques mètres. La marque mesure également les mouvements et la température proche de l'oreille. Il y a deux niveaux d'analyse pour cette marque : premièrement, la compression des données brutes et l'analyse de base des données pour générer des alertes s'il le faut et deuxièmement des algorithmes choisis librement par les utilisateurs sont appliqués sur les données. De nouveaux algorithmes peuvent être développés par des partenaires institutionnels, commerciaux ou gouvernementaux du fabricant. Les données sont communiquées vers un service cloud via un réseau satellitaire. Des relais de communication peuvent être installés à l'intérieur des étables pour garantir la continuité de la connexion. Un système de communication supplémentaire par Bluetooth est disponible, dont le but principal est de mettre à jour le logiciel embarqué mais peut également servir pour confirmer la présence à l'intérieur d'un bâtiment. La marque porte également une puce RFID de type LD pour l'identification. La marque utilise un panneau solaire qui charge une batterie comme source d'énergie. Ce capteur peut également être utilisé pour vérifier si l'illumination est naturelle (donc la marque est à l'extérieur) ou artificielle en observant son intensité et en la comparant aux mesures de MétéoSuisse ou locales (Il faudra bien sûr tester que le panneau solaire livre des données suffisamment bonnes pour ça). Le but du fabricant est de certifier la marque selon les standards ICAR. L'identification individuelle et officielle des animaux est donc garantie. Comme mentionné plus haut, le fabricant propose à d'autres acteurs d'implémenter des algorithmes et modules d'analyse des données. Les données brutes et les résultats sont stockés sur les serveurs du fabricant, mais la copie et même le déplacement des données sur l'ordinateur de l'éleveur sont possibles.

La mesure de positionnement basé sur le système GPS livre également une mesure de l'incertitude. Les données brutes sont envoyées sur les serveurs du fabricant. Des algorithmes éprouvés peuvent donc faire la distinction entre l'intérieur d'une étable et l'extérieur. De plus, l'agrégation des données sur une donnée de temps de l'ordre de plusieurs jours réduit les incertitudes. Ces résultats, sans les données brutes, sont transmises régulièrement depuis l'interface du logiciel de gestion à l'organe de contrôle. Celui-ci peut s'assurer des bons résultats de façon automatique ou manuel. D'autres analyses pour le suivi de la santé ou d'autres paramètres de bien-être peuvent être conduites sur la même plateforme et ceux-ci peuvent être inclus dans l'attribution des labels. On peut ici tout à fait imaginer qu'en plus que d'envoyer les informations sur le taux de sortie des animaux, leur position peut être envoyée à la BDTA pour confirmer ou modifier si nécessaire l'unité d'élevage à laquelle l'animal est attaché.

6.3.18.2 Localisation locale

Pour la deuxième implémentation, on se base sur la marque intelligente SmartBow [9]. Cette marque utilise le WiFi pour relayer sa position, mesurée en fonction des emplacements des antennes WiFi. Cette marque intelligente donne en temps réel la position à l'intérieur d'une zone prédéfinie et alerte l'éleveur si l'état de l'animal le nécessite. La batterie peut tenir jusqu'à 2 ans et peut être remplacée.

Les données sont visualisées sur un ordinateur local, sans qu'il n'y ait besoin de connexion internet pour contacter les serveurs centraux du fabricant Zoetis. Plusieurs onglets permettent de suivre un ou plusieurs animaux sur la durée. On peut ici tout à fait imaginer rajouter une option pour sélectionner un type d'aire (stabulation voire d'exercice) pour les parties couvertes par les antennes et ainsi procéder par déduction : si un animal n'est pas dans les deux aires et qu'il n'est pas signalé ailleurs, alors il est dehors (voir 6.3.2). Les mesures de positionnement sont, avec ce système local, de bonne qualité (de l'ordre du mètre, comme signalé dans 6.3.2).

Un nouvel onglet pour le journal de sortie serait à implémenter. Il permettrait de voir l'historique pour chaque animal, mais aussi pour le troupeau. Une agrégation au niveau du troupeau est également souhaitable pour limiter l'impact des erreurs de mesure. Vu que le système SmartBow est transmissible, il faut également vérifier que les marques soient effectivement portées par des animaux distincts en vérifiant que leur mouvements et activités (et pas seulement leur assignation dans des aires) soient différents.

Une fois les données validées par le système interne et l'éleveur, le journal est rempli automatiquement selon les résultats des mesures et de l'état de la BDTA. Il peut alors être transmis par l'éleveur selon un échéancier ou manuellement par un bouton à l'organe de contrôle.

6.3.19 Empfehlungen

La recommandation des auteurs est de choisir la variante globale en utilisant la marque de Ceres Tag. Cette marque intelligente offre non-seulement des performances à la pointe de la technologie, mais aussi une plateforme d'échange et d'analyse ouverte, ce qui permet une hélvétisation du système plus simple qu'avec d'autres fabricants et n'exige une infrastructure que très réduite pour fonctionner. Un rapport externe et indépendant à Ceres Tag [75] a mis en avant le potentiel de cette marque intelligente dans le contexte australien. Ce rapport liste notamment la grande traçabilité, la facilité de l'échange de donnée qu'offre la marque intelligente et la réduction du temps de travail administratif comme points forts.

6.4 Variante 3 (Image Analysis)

6.4.1 Beschreibung

L'analyse d'image ou vision machine, « image analysis » ou « machine vision » en Anglais, regroupe toute une série de techniques et d'algorithmes qui permettent d'interpréter automatiquement des images. Les algorithmes les moins ambitieux peuvent se limiter à détecter des formes alors que les plus sophistiqués permettent de compter des types d'objets (combien est-ce qu'il y a d'animaux sur l'image), d'identifier des visages ou surveiller l'état phytosanitaire de plantes par exemple. Dans cette étude, on comprendra le terme d'analyse d'image par l'activité plus générale de surveillance (automatique) du troupeau par l'image. L'analyse d'image se démarque fortement des autres instruments de mesure présentés ici, puisque les capteurs ne sont pas sur l'animal, mais extérieurs et font des mesures qui ne sont pas directement liées aux animaux. Les caméras sont installées sur des mâts ou sur la structure de l'étable et prennent des images des animaux qui ne portent pas d'instruments ou capteurs liés au système vidéo. Les mesures se font donc à distance.

Un système d'analyse d'image contient au moins ces sous-systèmes :

- Un ou plusieurs appareils de capture d'image. Il peut s'agir de caméras de surveillance relativement communes, d'appareils photos ou d'instruments plus avancés, comme des capteurs qui permettent la mesure en 3D des animaux.
- Un système de stockage. Des ordinateurs placés dans le bureau de l'exploitation peuvent suffire, mais des serveurs cloud sont aussi possible. Les données sont stockées pour analyse ultérieure ou en temps réelle.
- Un logiciel d'analyse. Ce logiciel doit être en mesure d'interpréter les images. Ce logiciel peut générer des rapports d'analyse et aussi, s'il le faut, des alertes pour attirer l'attention de l'éleveur.
- Une infrastructure logistique. Ce sous-système regroupe les différents besoins d'approvisionnement en énergie, définitions de positions, mâts, câblage et connexion internet vers l'extérieur de l'exploitation.

Dans les sections suivantes, des systèmes d'analyse d'images qui peuvent être utilisés comme instrument de mesure d'un journal de sortie seront présentés. Plusieurs options seront discutées pour remplir cette tâche, du suivi des animaux individuellement au suivi du troupeau par intermittence. Ce chapitre référencera régulièrement celui sur les marques intelligentes (chapitre 4). Des systèmes commerciaux seront décrits dans la mesure des connaissances des auteurs.

L'état de la technologie sera décrit dans les prochaines sections. Une analyse des forces et faiblesses sera faite en fin de chapitre et une possible implémentation clôturera le chapitre.

6.4.2 Lokalisierung

La localisation des animaux est un point central d'un journal de sortie. Les systèmes de vision sont plutôt considérés comme étant prévus pour l'intérieur. En effet, les conditions (principalement d'illumination et météorologiques) sont plus contrôlables et les performances meilleures (lire 5.3 et 5.4). De plus, les capteurs et le câblage durent plus longtemps s'ils sont protégés à l'intérieur. Une implémentation à large échelle de caméras en extérieur semble illusoire, surtout pour des raisons techniques et de protection des données/de la sphère privée (voir les sections 5.4 et 5.9).

Les caméras sont placées à des emplacements fixes. Les champs de vision sont donc connus. En classifiant ce qui est vu en plusieurs catégories de détention (stabulation, aire

d'exercice ou pâturage par exemple), on peut donc savoir quels emplacements sous surveillance sont occupés par les animaux et pour combien de temps. Avec des capteurs fixes, la flexibilité du système est moindre : si un pâturage qui n'est pas couvert par les caméras est utilisé, on ne peut pas mesurer la présence des animaux. De plus, il faut plusieurs caméras pour efficacement couvrir un grand pâturage ou un pâturage qui comporte des angles morts. Ces informations doivent être ensuite intégrées au logiciel de gestion pour éviter que les animaux détectés par plusieurs caméras soient comptés à double.

L'identification automatique des animaux sur les images est discutée aux sections 5.4 et surtout 5.7. Néanmoins, on peut déjà signaler que la technologie d'identification robuste par l'image n'est pas mature et ne pourra pas de toute façon fonctionner à toutes les distances.

Le suivi continu et individuel des animaux n'est donc une solution envisageable pour un journal de sortie avec une analyse vidéo. Une approche intermittente et basée sur la statistique du troupeau reste possible : au lieu de mesurer où les animaux sont en tout temps, on peut mesurer uniquement les aires de stabulations. On aura donc pour ces emplacements une très bonne mesure statistique. Les animaux qui ne sont pas dans ces aires et pas signalés ailleurs (dans un marché ou une exposition par exemple) sont à compter comme étant à l'extérieur, qu'on devra admettre comme étant le pâturage dans le cadre du journal de sortie. Pour que ces mesures soient bonnes, il faut que le logiciel de gestion connaisse en tout temps le nombre d'animaux dans le troupeau. Des garde-fous peuvent être implémentés pour que si disons 95% du troupeau est mesuré à l'intérieur alors l'ensemble du troupeau est marqué comme en stabulation. Bien sûr, on ne soutient pas ici que le journal de sortie ne donne forcément et uniquement les positions du troupeau comme s'il s'agissait d'un seul individu. Les durées peuvent être calculées en fonction de la fraction du troupeau présent dans les différentes aires. Par exemple, on peut tout à fait computer 30% de l'effectif troupeau dans à l'extérieur et 70% dans l'aire de stabulation. Il faudra néanmoins s'assurer que toutes les aires intérieures soient couvertes par des caméras pour ne pas surestimer le temps passé à l'extérieur.

Une autre approche serait de ne surveiller que les entrées et les sorties. Un avantage certain de ce système par rapport à celui proposé ci-dessus est l'économie de moyen importante. En effet, seuls les passages sont surveillés. Des portails avec caméras seraient installés aux points de passages (mais plutôt à l'intérieur, voir section 5.4) pour optimiser la surveillance. Le sens du passage permet de savoir où se trouvait l'animal avant le portail et où il se dirige. Si les passages sont couverts par des caméras de résolution suffisantes (voir section suivante), il est possible de lire le numéro d'identification de l'animal via sa marque auriculaire plastique « classique » assurant ainsi l'identification individuelle. Comme pour l'approche statistique ci-dessus, des hypothèses sur le comportement des animaux permettrait de combler les trous dans les données. On peut donc reconstituer l'historique des positions de l'animal en continu. Contrairement à l'approche statistique ci-dessus, on peut savoir qu'un animal en particulier est sorti et que les autres sont restés à l'intérieur. On surveille donc ici quels animaux sont sortis uniquement et l'identification individuelle des animaux est – probablement – plus simple puisque les marques auriculaires peuvent être lues automatiquement. Ce système serait donc basé sur quelques caméras dont les tâches seraient de compter les animaux qui traversent le portail et de lire les numéros d'identifications sur les marques auriculaires. Ces buts peuvent être remplis par la même caméra, mais plus probablement par au moins deux caméras (une au sommet du portail et une à hauteur d'oreille respectivement) pour optimiser le système et limiter les pertes d'informations dues à une non-détection.

Comme mentionné dans la section précédente, les caméras doivent être supportées par des installations au moins semi-permanentes qui mettent à disposition de l'énergie, des capacités de stockage et d'analyse ainsi qu'une connexion internet. Ces installations peuvent être

considérées comme lourdes dans certaines circonstances (par exemple à l'alpage). L'énergie nécessaire n'est pas très importante, on peut tout à fait imaginer des solutions basées sur des panneaux solaires et une batterie. Ces contraintes renforcent la variante d'une mesure au pâturage par l'absence du troupeau dans les autres aires.

A noter que des erreurs peuvent subvenir si l'angle de vue est mauvais : le logiciel de comptage n'arrivera pas à séparer efficacement les animaux ou même les voir s'ils sont bloqués par d'autres ou la lecture du numéro d'identification est impossible (lire section 5.3 pour plus de détails). Cependant, selon la question posée, l'incertitude sur la réponse peut être très faible : s'il on veut savoir combien d'animaux sont présents dans une aire donnée, l'algorithme n'a pas besoin de connaître la position géographique précise de l'animal, mais seulement la position relative dans l'image, voire simplement leur présence dans l'image.

Ces quelques réflexions montrent qu'un journal de sortie basé uniquement sur l'analyse d'image est possible. Dans la suite du texte, on continuera d'analyser les deux approches parallèlement. Elles seront comparées dans les sections 5.18 et 5.19.

6.4.3 Sensoren

Dans cette section, on décrira les différents capteurs possibles et surtout comment ils sont utilisés et quels sont les défis de leur utilisation. Tous les types de caméras ne peuvent pas être utilisés pour la mesure de positionnement, mais seront quand même évoqués pour information.

- Les caméras optiques sont des capteurs qui prennent des séquences vidéo dans le domaine visible. Le domaine visible est celui qu'on peut percevoir avec nos yeux. Les images ont trois canaux d'information : rouge, bleu et vert. Ce sont des capteurs très largement répandus : ces instruments sont dans nos smartphones, nos ordinateurs et autres objets de la vie quotidienne. Ils sont en général peu chers et sont très bien compris. Pour la majorité des modèles, une faible illumination réduit de façon importante la qualité de l'image. Des caméras haute définition et à haute sensibilité permettent d'opérer par faible illumination. Ce type de caméra est versatile : il est utilisé pour compter les individus, suivre leurs activités et détecter des problèmes potentiels (voir la prochaine section pour des exemples).
- Les caméras infrarouges capturent de l'information qui échappe à l'œil humain. Ces caméras sont sensibles à des longueurs d'onde plus élevées de la lumière et donc à la température d'un objet. Les zones plus chaudes seront plus intenses sur les images. Elles ne sont pas impactées par l'absence de luminosité : elles fonctionnent donc bien la nuit. Certains matériaux sont transparents aux infrarouges et laissent passer l'information comme les vitres laissent passer la lumière visible. Ces caméras sont très utilisées pour repérer des êtres vivants au sang chaud. Par exemple, les caméras infrarouges – parfois aussi appelées thermiques – sont montées à bord d'hélicoptère de sauvetage pour localiser rapidement les victimes de nuit (systèmes FLIR). Elles peuvent également servir pour le comptage d'animaux surtout sauvages (par exemple [76] ou [77]) ou pour la détection de zones enflammées du corps [78], [79], [80]. Elles sont néanmoins plus chères que les caméras optiques, ont une moins bonne résolution et le traitement d'images infrarouges est moins connu, donc un peu plus compliqué.
- Les caméras 3D permettent de mesurer des formes pas sous forme d'image, mais d'objet en trois dimensions, ou au moins les différences de distance entre la caméra et le sujet. Par exemple, si l'on mesure une pyramide par le haut, on pourra dire que la base est à 5 mètres de l'instrument et sa pointe à 1 mètre. Il existe plusieurs technologies pour de telles mesures (des caméras stéréoscopiques ou dites de temps de vol). Il faut toutefois noter que les applications de ces caméras sont restreintes à

l'évaluation l'indice de « body condition scoring » (notamment [81] et ses références). Ces outils 3D sont très intéressants et pas forcément excessivement chers (voir la référence précédente), mais ne sont pas adaptés au comptage d'individus.

- Les caméras multi- ou hyper-spectrales sont sensibles à une portion plus large du spectre de la lumière que les caméras optiques ou même infrarouge. Elles permettent de capturer de l'information de plusieurs domaines spectraux en même temps. Le grand avantage de ces caméras est de fournir énormément d'informations qui, recoupées, ont bien plus de valeur que les canaux individuels. En agriculture, ces instruments sont surtout utilisés pour suivre la croissance des végétaux et estimer leur état (voir [82] pour une revue du domaine). Ces techniques, lorsqu'appliquées dans l'élevage, sont utilisées pour analyser les produits (le lait ou la carcasse, [83]) ou l'analyse de la croissance des végétaux sur le pâturage [84]. Ces applications restent encore anecdotiques pour l'élevage, mais elles montrent un fort potentiel.

Comme instrument de mesure d'un système de pur comptage pour un journal de sortie, on privilégiera des caméras infrarouges, car elles permettent de mieux séparer les différents individus. Ce choix peut s'avérer trop coûteux voire trop fortement limiter les applications (d'autres activités de suivi se basent sur des images dans le domaine visible). Des caméras optiques proposent un bon compromis. Elles permettent également la lecture optique des marques auriculaires classique. On notera avec intérêt la start-up fribourgeoise AI Tend qui proposent un système de détection et d'analyse d'image pour l'élevage bovin basé sur des caméras optiques [85]. Ce système semble être prometteur (voir Figure 6).

Le principe d'utilisation reste très similaire pour tous les systèmes proposés : on place les caméras le plus haut possible pour avoir un angle de vue le plus proche de 90° possible (voir 5.4 pour l'explication ; évidemment que pour la lecture des numéros d'identification, les caméras ne seront pas orientées à verticalement) donc au plafond ou sur un mât dans un endroit bien illuminé et aux conditions climatiques les plus stables possibles (pour éviter la formation de buée et l'usure du matériel). Les caméras suivent les animaux de façon permanente ou régulière. Les images sont enregistrées sur des serveurs locaux ou du fabricant pour y être analysés. Ces serveurs et les analyses qui y sont conduites sont décrites à la prochaine section.

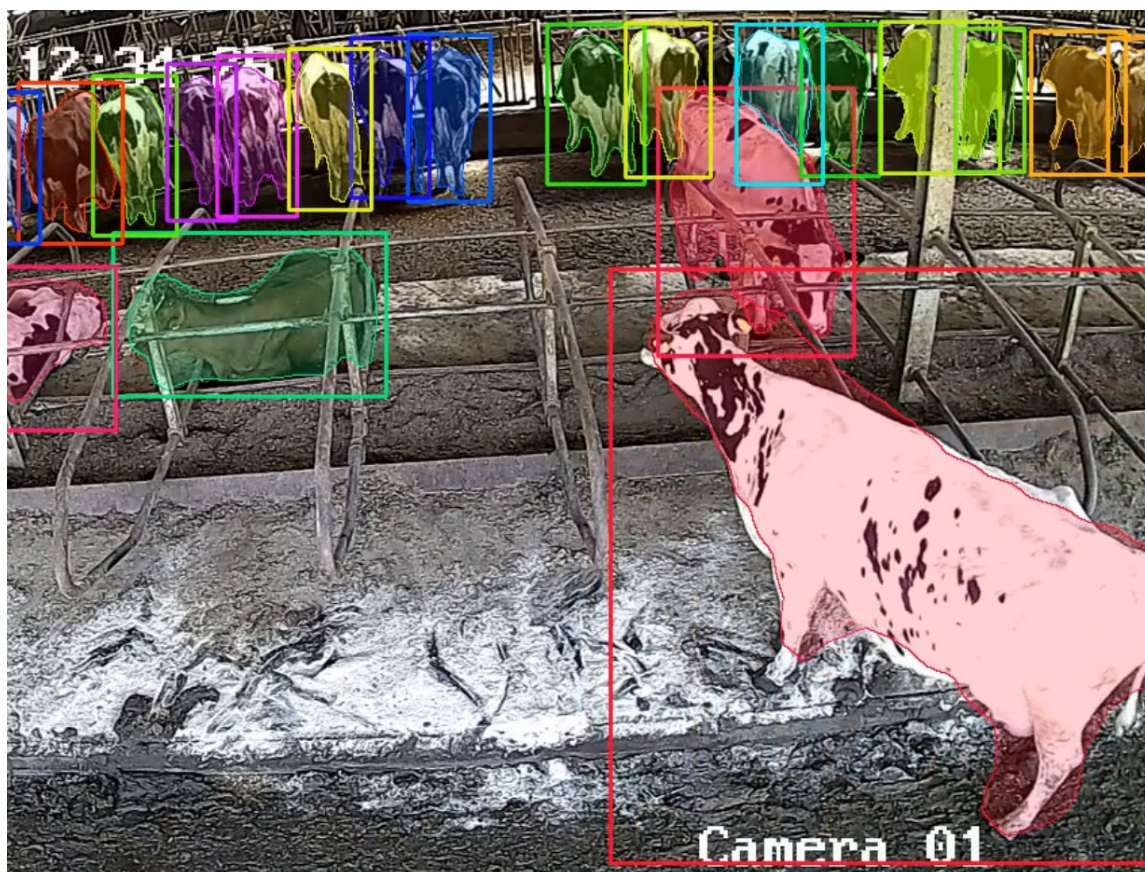


Figure: Exemple de résultats produits à partir de vidéos par la start-up AI Tend.

6.4.4 Algorithmen, Processing und Speicher

Comme dans la section correspondante pour les marques intelligentes (4.4), cette section ne sera ni longue ni technique. On établira les processus importants des algorithmes utilisés dans le traitement des données et surtout quelles sont les facteurs communs à toutes les techniques qui influencent les mesures et les performances des algorithmes. Ici aussi les algorithmes d'analyse peuvent et vont évoluer avec le temps. L'analyse d'image (et de vidéos) connaît un développement scientifique important dans de nombreux domaines. Pour l'analyse en temps réel d'images et la détection automatique d'objets spéciaux de nombreuses techniques basées sur des techniques sophistiquées d'apprentissage profond (deep learning) ont démontré d'excellentes performances (pour des revues récentes du domaine, voir [86] et [87]). Ces techniques s'adaptent relativement facilement à d'autres tâches que celles pour lesquelles elles ont été prévues. On peut donc modifier des techniques très performantes pour qu'elles détectent et comptent le nombre d'animaux de rente dans des images (par exemple la détection de moutons depuis des caméras embarquées dans des drones [88] ou [89] pour la détection de bovins dans une image prise du plafond d'une étable). On se référera à [90] pour une revue systématique des techniques et algorithmes utilisés dans l'analyse d'image pour l'élevage. En plus de la détection d'objets dans des images, ces algorithmes sont aussi utilisés pour la reconnaissance et la lecture optique de texte.

Les infrastructures informatiques nécessaires au traitement des images sont plus lourdes que pour les marques intelligentes, car les données générées sont bien plus volumineuses et les algorithmes demandent plus de ressources (en termes de mémoire et de temps de calcul). Le stockage des données brutes n'est possible que sur une courte durée (de l'ordre de quelques semaines) pour des serveurs raisonnables. Les algorithmes peuvent être exécutés sur des ordinateurs de bureau, mais le temps d'exécution sera probablement de quelques minutes à dizaines de minutes en fonction du nombre de caméras installées, de leur type et de la complexité de l'analyse.

Un journal de sortie basé sur les images devra nécessairement transmettre uniquement les résultats des analyses à l'organe de gestion pour limiter l'utilisation inutile de bande passante et le stockage de téraoctets de données.

Plusieurs facteurs influencent la qualité de l'image et les performances lors des comptages du nombre d'individus présents. On va citer les plus importants et comment limiter leur impact sur les performances :

- Les conditions d'illumination impactent particulièrement les caméras optiques. Dans des conditions sombres, la qualité de l'image sera moins bonne, car moins d'information aura été enregistrée par les capteurs. L'image sera alors difficile à analyser. Les conditions optimales sont une illumination généreuse, similaire au plein jour, indirecte et sans reflet. Les reflets ou de la lumière directe peuvent aveugler les capteurs. Pour les caméras infrarouges – qui sont sensibles à la température donc – les notions restent : il faut éviter de placer une source chaude (comme un moteur ou un chauffage) dans le champ de vue pour ne pas créer d'artefacts.
- Les conditions climatiques jouent un rôle important pour la luminosité mais aussi la résolution des images. Si une légère brume flotte dans le champ de vue ou si de la buée se forme sur l'optique alors la qualité de l'image sera fortement dégradée. Il faut également que l'optique soit propre et qu'il n'y ait pas trop de poussières en suspension dans l'air pour garantir la meilleure image possible. La température et sa variation n'ont pas d'incidence directe sur la qualité de l'image, mais peut provoquer de la buée. Le vent n'a que peu d'impact sur la qualité de l'image, mais peut faire osciller le mât ou vibrer la caméra et donc causer des baisses de performances indirectement. On le voit, placer une caméra de suivi de troupeau à l'extérieur sur un mât est susceptible de causer de nombreuses variations de qualité de l'image, ce qui est négatif pour les performances.
- Un angle de vue de la caméra élevé, donc une caméra qui surveille du plafond vers le bas, est bénéfique. Avec un angle trop bas, si par exemple la caméra est placée à l'horizontale à la hauteur des animaux, le champ de vue va être obstrué facilement limitant fortement l'utilité du système. Même si les animaux sont les uns contre les autres, les algorithmes d'analyses vont pouvoir compter correctement les animaux si la caméra est au plafond. Il faut toutefois noter que cette vision par le haut n'est pas forcément désirée pour toutes les applications : par exemple, certains systèmes d'identification des animaux nécessitent un angle plat (par exemple [91]). Un autre point négatif d'un angle de vue élevé est la limitation de la taille du champ de vue. Une caméra ne peut pas couvrir l'ensemble de l'étable, mais peut probablement couvrir le portail. Il va de soi que la caméra de lecture de l'identifiant est à l'horizontal.
- La densité du troupeau peut avoir des effets si l'angle est trop plat ou si l'algorithme n'est pas très performant. Ce n'est pas forcément un problème pour les bovins, mais ça peut le devenir pour les petits ruminants ou pour la volaille.
- La qualité des images doit être suffisante. Il s'agit pour le fabricant du système de sélectionner des caméras de qualité suffisante et de s'assurer que les éventuels modèles proposés comme pièce de rechange s'intègrent au système. Le fabricant peut proposer un ou plusieurs modèles de caméras prêtes à l'emploi pour limiter les problèmes de qualité d'image.

Les performances peuvent donc être assurées si les conditions sont réunies. Plusieurs systèmes basés sur la vision se sont montrés excellents en laboratoire, mais beaucoup moins bon dans des conditions réelles puisque les facteurs étaient moins contrôlables. Il faut donc rester le plus proche possible des conditions de laboratoire et donc installer des caméras en extérieur n'est pas une bonne option. Des caméras installées haut dans l'étable, idéalement

à la verticale, forment la meilleure configuration. Pour l'approche indirecte, il faut noter qu'un nombre important (de l'ordre d'une douzaine) de caméra peut être nécessaire pour que les critères énumérés ci-dessus soient satisfaits.

On a déjà parlé du « body condition scoring » comme application et du comptage des animaux. Il y a d'autres applications de l'analyse d'image. Les porcs sont suivis pour détecter leur agressivité [92], l'estimation de leur poids [93] ou le suivi de leur mouvements (couché et les positions debout [94]). Moins de d'études se focalisent sur les bovins, mais plusieurs études prometteuses montrent que plusieurs applications sont envisageables : le suivi du comportement alimentaire [95] par le système commercial Cainthus [96] et ou le suivi de l'œstrus [97]. Le système Cainthus utilise tout de fois de nombreuses caméras (de l'ordre d'une vingtaine) par étable. La détection de la boiterie peut être faite par l'analyse des postures dans une vidéo (par ex. [98] et [99]). Ces études démontrent le potentiel de l'analyse d'image mais aussi les difficultés à traduire de bonnes idées en produit commerciaux. En comparaison des marques intelligentes, il y a bien moins d'offres sur le marché.

Pour augmenter les chances de succès d'un journal de sortie électronique basé sur l'analyse d'image, il faut limiter les fonctionnalités et se concentrer sur la performance du comptage et peut-être de lecture selon l'approche choisie. On perd certes en généralité, mais on gagne alors en efficacité. En connaissant du fonctionnement d'une unité d'élevage, on peut se baser sur certains événements comme l'absence des animaux au nourrissage à des moments particuliers de la journée pour en déduire la présence des animaux aux pâtures.



Figure: Exemple d'analyse des comportements individuel par le système Cainthus.

6.4.5 Verbindung

La problématique de la connectique est bien moindre que pour les marques intelligentes (voir 6.3.5). Le système étant permanent, un câblage peut être posé pour connecter les capteurs directement aux serveurs locaux. Des solutions via WiFi sont également envisageables. Des câbles sont de toute façon nécessaires pour amener l'énergie.

Le système de transmission par câble est très probablement à privilégier, car il est plus robuste : les câbles n'exigent pas d'énergie pour fonctionner et peuvent être remplacés relativement facilement par des non-experts.

6.4.6 Energie

Ici aussi, l'aspect énergétique est moins exigeant (section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Bien que la demande en énergie soit plus grande qu'avec les marques intelligentes, l'énergie est facilement acheminée par câble aux capteurs. Un système de génération d'énergie par panneaux solaires peut être conçu pour que l'installation soit autonome. Son dimensionnement dépendra évidemment du nombre de caméras engagées, de la fréquence de prise d'image et du type d'algorithmes employés pour l'analyse. Pour que l'analyse d'image fonctionne, il faut bien sûr pouvoir garantir l'approvisionnement en énergie.

6.4.7 Identifizierung

Plusieurs études récentes exploitent des caméras optiques parfois combinées avec des informations de distances pour identifier les vaches laitières individuelles **sans lecture des marques auriculaires**. L'angle de la caméra varie : certaines utilisent des caméras placées au-dessus des animaux [100] et d'autres plutôt sur le côté [101]. Les performances sont relativement élevées. Une étude très récente atteint une exactitude de l'ordre 98.4% sur un échantillon de 93 vaches [102]. Pour chaque étude la méthode est légèrement différente, mais elles se basent sur des différences de postures, de pelage et/ou la forme du corps [103], voire de la reconnaissance faciale [96].

On le lit, ces méthodes sont encourageantes, mais encore au stade de la recherche appliquée. Elle est intense depuis quelques années certes, mais encore dans ses débuts. Une exactitude de 98.4% n'est probablement pas toujours satisfaisante et l'étude en question ne parle pas de l'identification dans le temps. L'enregistrement des caractéristiques d'un veau n'implique pas qu'il sera reconnu une fois adulte.

A noter également que plusieurs groupes se base sur l'empreinte du museau avec des exactitudes allant jusqu'à 90% [104], [105].

Les performances attendues pour une lecture optique de la marque auriculaire lors du passage au portail dépendent de nombreux choix de dimensionnement et des conditions environnementales. Il est difficile de donner une estimation chiffrée du taux de succès par manque d'études, mais on peut le qualifier de bon.

6.4.8 Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Le logiciel de gestion doit reprendre essentiellement les points du logiciel de gestion d'un journal de sortie avec marques intelligentes (section 4.8) : il doit y avoir une vue d'ensemble, un historique et l'état du journal de sortie avec certaines fonctionnalités de contrôle. Pour l'approche de suivi constant dans l'étable, l'utilisateur doit avoir la possibilité de définir différentes aires couvertes, mais aussi la possibilité de signaler des animaux absents pour que les totaux des animaux correspondent aux nombres d'animaux dénombrés par les algorithmes. On soulignera ici encore l'importance de la simplicité de l'utilisation du logiciel pour son utilisation régulière, possible par tous et qui demande moins de temps que de remplir un journal de sortie à la main.

6.4.9 Datenschutz

A la différence des marques intelligentes, les données récoltées par les caméras ne concernent pas uniquement les animaux : une zone est constamment surveillée. Les données animales sont déduites des images, mais ces images contiennent également d'autres informa-

tions : on y voit l'intérieur de l'étable mais aussi peut-être l'extérieur. Les personnes qui travaillent au contact des animaux seront filmées ainsi que les visiteurs et toute personne présente dans le champ de vision des caméras. On s'expose donc ici à des risques si des personnes ne sont pas correctement averties qu'elles sont filmées (voire notamment les présentations [58] ou [59]). L'approche de la mesure aux points de passage pose probablement moins de problèmes puisque la zone filmée est plus réduite.

Les remarques faites dans la section correspondante des marques auriculaires (section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) concernant les précautions autour des données et les bonnes pratiques restent évidemment valables.

6.4.10 Kontrollierbarkeit

Le contrôle des résultats est possible et relativement aisé avec les images puisque les données brutes sont facilement interprétables par un humain. Il reste néanmoins à vérifier que les caméras couvrent bien l'étable et/ou tous les points de passage complètement et que le troupeau surveillé soit le bon et que tous les animaux soient en effet annoncés. Une méprise sur le nombre d'animaux pourrait en effet tromper le système.

Comme décrit à la section 5.4, la surveillance vidéo génère un volume important de données. Les archives brutes ne seront donc pas gardées longtemps par soucis d'utilisation de la mémoire. Ainsi, les contrôles ne pourront s'effectuer que jusqu'à quelques semaines ou mois en arrière.

Les contrôles de l'infrastructure et de la configuration du système sont ici importants : on doit s'assurer que toutes les aires intérieures soient couvertes par le système de surveillance et que ces aires soient bien définies comme intérieures. C'est là une faiblesse de l'approche par déduction : un système qui ne fonctionne pas bien peut facilement surestimer le temps passé à l'extérieur puisque si les animaux ne sont pas détectés, ils sont considérés à l'extérieur.

Les contrôles sur l'exploitation doivent donc vérifier que les installations soient correctement installées et qu'elles fonctionnent, mais aussi que les logiciels soient configurés adéquatement. Il est probable qu'ils soient au moins aussi lourds et exigeants que ceux pour les marques intelligentes. Evidemment les contrôles des systèmes informatiques et de transmissions de données évoquées à la section 4.10 sont aussi applicables ici.

6.4.11 Kosten

L'aspect financier est plus intéressant qu'avec les marques intelligentes puisque le système est permanent et que du matériel ne doit pas être acheté pour chaque animal à suivre. Le coût de développement du hardware est également bien plus limité puisque les contraintes ne sont pas aussi strictes que pour les marques intelligentes. Le défi se trouve surtout dans le développement d'algorithmes d'analyse très performants. Dans les prochaines sous-sections, on décrira les positions des frais de développement et ceux à supporter par l'éleveur.

6.4.12 Kosten beim Entwickler, technisch

L'intégration des capteurs dans des boîtiers adaptés aux conditions d'utilisation n'est pas un défi technologique, à l'inverse des marques intelligentes. On doit s'assurer cependant que le modèle de caméra retenu soit suffisamment bon pour générer des images de bonne qualité et que des solutions de connectiques et de génération autonome d'énergie permettent des opérations normales voire dégradées du système. Les coûts de développement du hardware sont donc surtout concentrés dans les tests de laboratoire mais aussi en conditions réelles de ce qui a été développé.

Les défis majeurs d'un tel système sont dans les algorithmes d'analyse : il faut des procédures performantes et robustes, – ce qui est toujours compliqué à garantir avec des algorithmes de vision (lire les revues citées dans la section 5.4 pour beaucoup plus de détail). Le

développement du logiciel de gestion, c'est-à-dire l'interface utilisateur, ne fait pas partie de ces défis d'analyse. Il s'agit uniquement du cœur du processus : les algorithmes de vision et d'intégration des résultats des différentes caméras, – la traduction de ce qui est vu par les caméras en informations consolidées et cohérentes de présence se somme.

6.4.13 Kosten für den Bauer

L'acquisition du système et surtout son installation dans ses étables et sa configuration sont des positions importantes dans le budget. Les coûts sont très probablement de l'ordre de grandeur de plusieurs milliers à une dizaine de milliers de francs. On notera néanmoins que l'exploitation du système est bon marché puisqu'il n'exige que de l'énergie qui peut certainement être générée localement et quelques remplacements de matériel après quelques années. Les caméras peuvent être relativement facilement remplacées sans nécessairement l'intervention d'experts. De la même façon, les algorithmes et logiciels de gestion peuvent être facilement mis à jour par les utilisateurs. Les coûts pour l'éleveur sont donc concentrés à l'acquisition.

Il y a très peu de solutions commerciales sur le marché. Il est donc difficile d'estimer les coûts effectifs, mais ils seront élevés, car il s'agit d'un des premiers systèmes et donc ne profitera pas des effets d'échelle.

6.4.14 Internationale Erfahrungen

Plusieurs études scientifiques ont utilisé la surveillance vidéo pour suivre certains comportements ou détecter des affections (voir les sections 5.4 et 5.7). On a évoqué l'offre commerciale Cainthus [96], d'autres offres existent pour la volaille (par ex. eyeNamic de Fancom [106]) ou les porcs (le produit ProGrow de la société SKOV [107], Ro-Main smaRt suite [108] ou Corvitac [109]). A noter que les deux derniers sont relativement proches de l'approche par portail décrite dans ce chapitre). Mais, globalement, il n'existe que peu de systèmes commercialisés.

L'expérience dans le domaine de l'analyse d'image augmente rapidement. Depuis l'avènement de technologies d'analyse basées sur l'apprentissage profond vers 2012 (voir les revues citées en section 4.4), les performances ont fait un bond. L'analyse d'image est fondamentale pour certaines applications sécuritaires ou pour les voitures autonomes. Partout les résultats montrent un fort potentiel, mais que la technologie n'est pas encore complètement mature.

6.4.15 weitere relevante Informationen

On serait tenté de comparer un journal de sortie avec les surveillances vidéo qui se sont généralisées dans les espaces utilisés par les humains. Il s'agit de technologies similaires, mais avec des buts différents. Le lecteur se référera à la section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** pour une discussion des différences.

6.4.16 Akzeptanz

L'acceptance d'un journal de sortie basé sur la vidéo suit les mêmes critères que pour les marques intelligentes (section 4.14). Deux des critères sont particulièrement importants pour la vidéo : l'efficacité et la bonne utilisation des données. L'efficacité est un défi technique : transformer des images en une réduction effective du temps de travail. Si le temps de travail n'est pas réduit parce que le système n'est pas assez performant, l'outil ne sera pas adopté par la majorité des éleveurs, surtout s'il s'agit d'un outil spécialisé uniquement dans le comptage des animaux. La bonne utilisation des données doit donner à l'éleveur des garanties qu'uniquement les animaux sont surveillés et que le personnel ou toute autre personne fil-

mée ne sera pas analysée par le système. Ce point peut être difficile à assurer et va largement être influencé par le ressenti des personnes envers de tels systèmes de vidéosurveillance en général : la mauvaise utilisation de la vidéosurveillance d'un magasin peut influencer l'acceptation du journal vidéo. Le troisième critère cité pour les marques intelligentes, la facilité d'emploi, reste important, mais c'est là plus une question de bon design plutôt qu'un défi.

L'acceptation est donc probablement délicate à gérer et doit se baser sur des bases techniques et juridiques solides pour garantir le bon fonctionnement du système.

6.4.17 Machbarkeit

Dans cette sous-section, la faisabilité sera étudiée sous ses aspects techniques, économiques, temporels et juridiques. Ils seront synthétisés dans la sous-section 5.15.5.

6.4.17.1 Technische Machbarkeit

Le lecteur l'aura compris, les difficultés majeures de ce journal de sortie par vidéo ne sont pas le hardware. Le matériel nécessaire est relativement bien connu et le cahier des charges d'utilisation bien maîtrisé. L'installation de l'infrastructure (que ce soit les caméras, le câblage ou les outils de conduite) ne pose pas de défi technologique particulier et n'est pas différent de ce qui peut se faire actuellement déjà.

Si l'installation est faite correctement (voir la liste des facteurs à prendre en compte dans la section 5.3) alors le facteur le plus important pour la bonne performance est la qualité des analyses. On l'a dit ces algorithmes utilisent des techniques sophistiquées pour discerner les animaux sur les images avec un taux de succès suffisant (voir la section 5.4 pour les méthodes utilisées).

Bien que les algorithmes puissent être améliorés après l'introduction du système il faut évidemment proposer une très bonne performance dès le début ce qui implique un temps de recherche non-négligeable, de l'ordre probablement de plusieurs années.

Les algorithmes sont donc difficiles à développer et leur performance dans des conditions dégradées voir légèrement subnormales ne peuvent pas être garanties avec l'état actuel de la technologie. Il faut toutefois noter que le développement du domaine est très rapide et que ce constat de la grande difficulté d'obtenir un résultat satisfaisant est amené à être revisité régulièrement. On doit bien sûr utiliser les avancées rapides des domaines proches de la vision machine pour augmenter les performances. Ces avancées sont difficiles à prédire et ne sont pas linéaires : des bonds ou des stagnations peuvent subvenir.

Il faut comprendre les remarques de cette section dans leur contexte. En effet, la technologie de surveillance vidéo (en particulier pour les humains) est présente partout. Cependant, l'analyse des images, lorsqu'elle se fait, est encore très manuelle (sauf peut-être dans certains systèmes de reconnaissance faciales à grande échelle, tels que ceux en Chine ou dans des endroits à haute fréquentation, comme des aéroports, mais des résultats scientifiques ne sont pas disponibles pour évaluer la performance réelle du système).

Dans le contexte du journal de sortie qui fonctionnerait par déduction, les non-détections d'animaux biaisent les mesures en faveur de plus de sortie, donc vers un résultat en faveur de l'éleveur. Il faut s'assurer que la technologie détecte en quasi-tout temps quasiment tous les animaux. C'est précisément là que se cachent les difficultés. On ne peut pas travailler avec un système qui fonctionne sur la plupart des animaux la majorité du temps seulement. Actuellement cette détection n'est pas mauvaise, elle fonctionne même relativement bien, en tout cas dans de bonnes conditions. Il faut donc s'assurer de l'efficacité du système en toutes circonstances, ce qui est loin d'être trivial. Il faut aussi s'assurer que toutes les caméras livrent de bonnes images et que les animaux ne sont pas détectés plusieurs fois et les

résultats coordonnés et interprétés correctement. D'autres applications pour les bovins ou d'autres genres d'animaux sont disponibles (voir p. ex. [65]), mais ce n'est pas la preuve que l'implémentation d'un journal de sortie est simple.

L'approche de la surveillance des portails est plus simple du point de vue du développement technologique. On mesure les animaux qui sortent et qui rentrent dans l'étable. On a deux opportunités de détecter les animaux. Une non-détection peut être corrigée par des hypothèses simples sur le système de détention. Les performances algorithmiques ne doivent donc pas être nécessairement aussi bonnes que pour l'autre approche. Il ne faut néanmoins pas sous-estimer les efforts à fournir pour garantir une bonne analyse des données. De plus, cette solution exige la pose des portails à chaque point de passage, ce qui peut se révéler non seulement relativement cher, mais aussi compliqué. Ces portails peuvent potentiellement également gêner le travail quotidien de l'éleveur.

6.4.17.2 Wirtschaftlicher Machbarkeit

Puisque plusieurs éléments du système sont déjà disponibles et que les investissements seront largement à concentrer dans une petite équipe de développement, les coûts totaux ne seront pas aussi élevés que pour les marques intelligentes. La technologie de comptage automatique n'intéresse bien entendu pas uniquement le monde de l'élevage et donc, même si l'objet à compter n'est pas le même, les frais de recherche et développement peuvent être partagé par l'exploitation des synergies entre intérêts publics et privés. On image très clairement que les bases des algorithmes pour compter des personnes dans un magasin, des voitures sur une route ou des animaux dans une étable sont les mêmes.

6.4.17.3 Zeitliche Machbarkeit

Il est difficile de fixer un échéancier sans avoir pu évaluer l'état actuel de la technologie dans des conditions de laboratoire et surtout réelles dans le but d'un journal de sortie (où il faut détecter la présence des animaux dans la durée de façon cohérente). Dans le meilleur des scénarios (avec une technologie quasiment mature, – ce qui n'est très probablement pas encore le cas), il faudra compter de l'ordre de 3 à 5 ans d'implémentation et de tests avant de pouvoir commencer une introduction raisonnée (probablement moins avec l'approche des portails, voir section 5.18). Dans le pire des scénarios (la technologie n'est absolument pas mature) il faut compter entre 5 et 10 ans pour faire murir la technologie et trouver de bonnes solutions à son implémentation.

6.4.17.4 Rechtliche Machbarkeit

La faisabilité du projet d'un point de vue juridique sera décidée par les conséquences potentielles de la prise d'image quasiment continue d'un environnement où se côtoie animaux et humains. On l'a vu, les données qui concernent uniquement les animaux ne sont pas sensibles, mais les images des personnes oui. Des bases légales devront cadrer l'utilisation des images pour garantir une exploitation raisonnée des données. La taille de la zone filmée est plus restreinte avec l'approche des portails, ce qui limite aussi le problème de la protection des données.

6.4.17.5 Zusammenfassung Machbarkeit

Actuellement et selon l'état de la technologie, un démonstrateur d'un journal de sortie basé sur l'analyse d'image est possible. Le terme démonstrateur implique que les conditions soient bien contrôlées avec un but principalement scientifique ou technique. Traduire cette faisabilité en laboratoire à un produit avec la robustesse nécessaire à une introduction à large échelle semble difficile à très difficile particulièrement s'il on exige l'identification des animaux. Il faut aussi s'assurer qu'il n'est pas possible d'abuser du système (par exemple en limitant le champ de vision de la caméra pour faire croire que les animaux ne sont pas là).

6.4.18 Vor- und Nachteile

Comme on l'a fait pour les marques intelligentes (4.16), voici un résumé des points positifs et négatifs d'un journal de sortie basé sur l'analyse d'image.

Points en faveur :

- Les coûts d'exploitation sont limités puisque les besoins en matériel ne sont pas directement dépendant du nombre d'animaux et des caméras ne doivent pas être achetées pour chaque nouvel animal.
- Le suivi des animaux dans les aires intérieures et très proches de l'intérieur peut être très bon et la localisation précise, on n'a donc pas de problème aux interfaces des zones.
- La technologie n'est pas spécifique au comptage d'animaux. Les avancées techniques dans d'autres domaines peuvent être relativement facilement et rapidement traduites. Des sauts de performances sont probables.
- La surveillance vidéo se fait à distance de l'animal et ne peut donc pas blesser directement les animaux.

Points en défaveur :

- Pour des raisons techniques (voir 5.3), les animaux ne peuvent que très difficilement être suivis lorsqu'ils sont au pâturage. L'objectif principal d'un journal de sortie est de garantir le temps passé dans les aires d'exercice/ de sortie et au pâturage, ce qui n'est possible que de façon indirecte.
- La technologie n'est pas encore satisfaisante pour garantir que les animaux seront en tout temps suivis, détectés et identifiés. L'approche par portail est moins affectée par cette limitation.
- Les infrastructures imposées par ce système, et en particulier les caméras, rendent les données récoltées potentiellement intrusives.

Les points en défaveur de cette technologie sont importants et les solutions pour les atténuer sont compliquées et lourdes. Globalement, l'utilisation de l'analyse d'image pour un journal de sortie n'est pas une variante adaptée à un journal de sortie.

6.4.19 Allfällige Notwendigkeit eines Pilotprojektes

Comme signalé plusieurs fois déjà, la technologie n'est pas à la maturité suffisante pour une application commerciale de type journal de sortie, mais les développements scientifiques peuvent être soutenus par des essais en conditions réelles. Des tests de systèmes déjà avancés, tels que ceux proposés par Cainthus [96] ou AI Tend [85], pourraient se révéler néanmoins très prometteurs.

6.4.20 Umsetzung

6.4.20.1 Approche indirecte

Un journal de sortie avec surveillance vidéo pourrait être implémenté comme suit. Des caméras optiques (ce type de caméras est choisi pour sa simplicité et sa technologie plus avancée) sont placées au plafond de l'étable. Il faut s'assurer lors de l'installation que toutes les zones que les animaux peuvent visiter soient couvertes par la surveillance vidéo. Dans le logiciel de gestion sont configurées quelles zones sont classées dans quelle aire (exercice, stabulation et éventuellement pâturage). Le système fonctionne par la mesure indirecte : si l'animal n'est pas détecté dans une aire couverte et n'est pas annoncé absent, alors il se trouve à l'extérieur. Des garde-fous et des contrôles automatiques sont à implémenter pour

éviter que des animaux ne faisant plus partie du troupeau soient comptés (par exemple en décidant que si 90 ou 95% des animaux est détecté dans une des aires intérieures, alors tout le troupeau est à l'intérieur, mais que si seulement 50% des animaux sont détectés, il faut alors faire l'hypothèse que l'autre moitié est dehors). Il faut s'assurer également que l'éclairage soit bon pour que les performances de détection des animaux soient bonnes. Le logiciel de gestion analyse les images brutes qui sont archivées plusieurs semaines sur des serveurs locaux. Les résultats des analyses sont envoyés intégrées à un rapport de sortie qui agrège les données par troupeau. Ce tableau récapitulatif est ensuite envoyé électroniquement à l'organe de contrôle.

6.4.20.2 Approche par portails

La seconde approche utilisant l'analyse vidéo surveille uniquement les points de passage entre les différentes zones. On en déduit le sens du passage pour chaque animal. On peut donc reconstruire par déduction dans quelle aire se trouvait l'animal à n'importe quel temps. Cette approche nécessite l'installation de portail dotés de caméras qui permettent de compter combien d'animaux passent (et dans quel sens), mais aussi de les identifier de façon univoque grâce à la lecture optique du numéro sur les marques auriculaires. Ces mesures exigent entre une et trois caméras (une verticale de comptage et deux pour lire les marques auriculaires gauches et droites) selon l'implémentation choisie. Ces caméras, comme pour l'approche indirecte, doivent être à l'abri des éléments et le champ de vue doit être bien éclairé. Le système transmet les identités des animaux qui changent d'emplacement au serveur local qui peut ainsi calculer le taux de présence individuellement pour chaque animal. Une fois que le journal aura été consolidé (et potentiellement validée par l'éleveur), il peut être envoyé électroniquement. L'approche peut aussi être combinée avec un lecteur de puce RFID au portail pour confirmer/complémenter les résultats de la lecture optique. Evidemment, plusieurs hypothèses peuvent améliorer le résultat de la lecture, comme, par exemple, que le numéro lu correspond à un animal qui se trouve sur le lieu de détention. La mise en place du système exige qu'on le configure pour définir quel sens de passage est une sortie ou une entrée. Ceci n'est à faire qu'au début ou pendant des maintenances du système. La liste des animaux présents peut être liée à la BDTA ou être gérée manuellement par l'éleveur.

Cette approche est plus simple que l'approche indirecte, car les animaux doivent emprunter un passage obligé pour changer de zone. Ils sont donc forcément (à moins d'une panne du système) détectés. De plus, l'identification par lecture optique donne très probablement de meilleurs résultats.

6.4.21 Empfehlung

Un journal de sortie basé sur l'analyse d'image n'est pas recommandé par les auteurs. Le manque de synergies avec d'autres domaines d'intérêt (santé ou notifications BDTA automatiques par exemple) et les difficultés techniques sont les principales raisons de cette position.

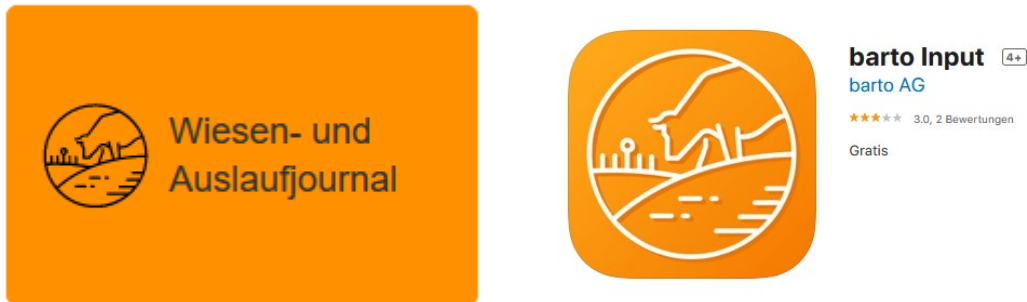
Si, toutefois, une approche par vidéo devait être choisie, les auteurs proposent de sélectionner l'approche des portails puisque qu'elle est plus simple et permet une meilleure identification des animaux. L'implémentation d'un tel système peut se faire également plus rapidement que l'approche indirecte et plus rapidement que la variante avec marques intelligentes, bien que les résultats soient moins intéressants.

6.5 Variante 4 (Weiterentwicklung teilautomatisches System, Barto)

6.5.1 Beschreibung

6.5.1.1 Ist - Zustand

Der Baustein Wiesen- und Auslaufjournal ist ein webbasiertes Aufzeichnungswerkzeug des Auslaufs der auf dem Betrieb gehaltenen Nutztiere, verbunden mit der Dokumentation der Wiesenutzung. Das Beweiden der Wiesen ist Teil des Auslaufs. Darum ist eine funktionale Verknüpfung naheliegend. Der Baustein ist Teil der Plattform www.barto.ch.



6.5.1.1.1 Die Funktionen des Auslaufjournals im Einzelnen:

- Übernahme der Betriebsadresse gemäss TVD
- Für mehrere Betriebe nutzbar (Wahl des Betriebs analog der TVD unter dem Agate Portal)
- Auswahl der gehaltenen Nutztierkategorien (ein- und ausschalten)
- Individuelle Anzeigesortierung der Kategorien für Web GUI und Barto Input App
- Anzeige in Form eines Jahreskalenders analog dem Auslaufjournal von AGRIDEA
- Wahl zwischen Anforderungen nach Tierschutzgesetz oder RAUS pro Kategorie
- Gattungsspezifische Ausprägung (z.B. Rinder, Geflügel)
- Dokumentieren des Aufenthaltsortes pro Tag und Kategorie: Stall, Laufhof oder Weide
- Automatisches tägliches Vererben des Eintrags pro Kategorie auf den Folgetag
- Korrekturmöglichkeit von Einzeltageinträgen in der Vergangenheit
- Bei Weidegang miterfassen der Parzelle (Auswahl) und automatischer Eintrag im Wiesenjournal
- Bei RAUS erfassen von Abweichungen bei Laufhof und Stallhaltung mittels wählbarer Begründung oder Freitext
- Erstellen und Ausdrucken eines Papierdokuments (PDF) zum Vorlegen bei einer Betriebskontrolle (angelehnt an Papiervorlage der AGRIDEA)

6.5.1.1.2 Die Funktionen des Wiesenjournals im Einzelnen:

- Übernahme der Betriebsadresse gemäss TVD
- Erfassen der Grünlandparzellen mit Name, Fläche, Wiesentyp und Nutzungsintensität
- Automatisches Abfüllen der Weideeinträge pro Parzelle aus dem Auslaufjournal
- Individuelle Anzeigesortierung der Parzellen für Web GUI und Barto Input App
- Erfassen der Tätigkeiten und Massnahmen (Futterernte ohne Beweidung, Düngung, Pflege) für eine oder mehrere Parzellen aus Auswahlliste und zusätzlichem Freitext
- Anzeige in Form eines Jahreskalenders analog dem Wiesenjournal der AGFF

- Erstellen und Ausdrucken eines PDFs zum Vorlegen bei einer Betriebskontrolle in Anlehnung an die Darstellung im AGFF Wiesenjournal.

Der Baustein wird ergänzt mit der barto Input App als Erfassungstool im Stall und auf dem Feld.

6.5.1.1.3 Funktionen der Mobile App als Erfassungsinstrument:

- Für mehrere Betriebe nutzbar (analog TVD)
- Tagebuchähnlicher Aufbau - scrollbarer Aktivitäten Kalender
- Anzeige der Nutztierkategorien aus der Webapplikation
- Bestätigung des vererbten Aufenthaltsortes vom Vortag oder Dokumentieren des Aufenthaltsorts pro Tag und Kategorie: Stall, Laufhof oder Weide
- Bei Weidegang miterfassen der Parzelle (Auswahl) und automatischer Eintrag im Wiesenjournal
- Erfassen von Abweichungen bei Laufhof und Weidegang mittels wählbarer Begründung oder Freitext beim Programm RAUS
- Erfassen der Tätigkeiten und Massnahmen für eine oder mehrere Parzellen mit Auswahlliste und Freitext

Die Mobile App barto Input wird im Apple und Google Play Store angeboten. Sie läuft nur zusammen mit dem lizenzierten Web Modul Wiesen- und Auslaufjournal.

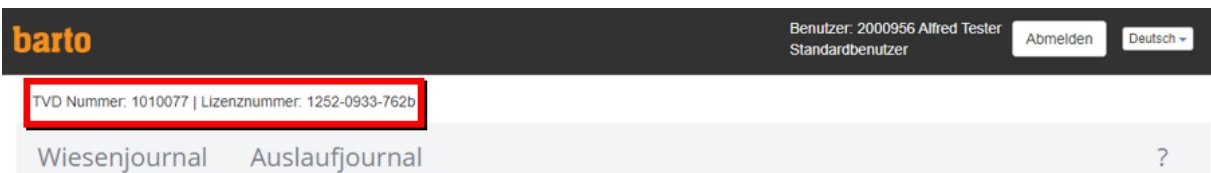
Das Wiesen- und Auslaufjournal ist einer der drei Bausteine von barto. TVD Rinder und Suisse Bilanz sind die beiden anderen Bausteine. Das Login in den funktionalen Teil von barto erfolgt über Agate. Barto AG hat den Authentisierungsservice des Bundes für diesen Zweck lizenziert. Zudem verfügt die Barto AG über eine Lizenz des Bundesamts für Landwirtschaft zur Nutzung des Animal Tracing Webservice der Tierverkehrsdatenbank. Durch die Nutzung des Webservices schlägt das System dem Nutzer die ihm durch die Kantonsysteme zugeordneten und nach AGIS replizierten Betriebe vor. Die bei barto eingeloggte Person hat anschliessend die Möglichkeit die Lizenz für das Wiesen- und Auslaufjournal für den oder die ihm vorgeschlagenen Betriebe mit Tierhaltung zu lösen.

Ursprünglich war geplant, die Anzeige der Tierkategorien im Portal und der barto Input App über den Tierbestand der TVD zu steuern. Über die Attribute Alter, Geschlecht und Nutzungsart liessen sich bei den Rindern die vom Betrieb gehaltenen Tierkategorien automatisiert anzeigen. Der Tierhalter müsste lediglich festlegen, ob die entsprechende Kategorie beim Programm RAUS angemeldet wurde. Equiden lassen sich über die TVD bereits dem einzelnen Betrieb zuordnen und mit der Meldepflicht von Ziegen und Schafen ab 2020 liessen sich die Anzeige dieser Kategorien auch direkt über die Nutzung des Animal Tracing Webservice steuern.

Mit der Verwendung der Agate Credentials für Plattform und App wäre beim Aufstarten jeweils der aktuelle Viehbestand angezogen und daraus die gehaltenen Rinderkategorien abgeleitet worden.

Leider war zum Zeitpunkt des Baus des Wiesen- und Auslaufjournals das Abspeichern von Agate Nummer und Passwort in einer neuen App von Seiten BLW nicht mehr erlaubt, ein Verfahren das bei der TVD App oder der Smartcow App noch zulässig war. Auf der anderen Seite war der vom BLW als Nachfolgelösung geplante Authentisierungsservice für mobile Applikationen noch nicht einsatzreif.

In der Folge entschied sich Barto zu einem eigenen Loginverfahren für den Nutzer der barto Input App. Der Nutzer logt sich auf der App mit der TVD Nummer des Betriebs und der durch das System für den entsprechenden Betrieb generierten Lizenznummer ein. Diese beiden Logininformationen werden dem Nutzer im Portal angezeigt und können auf dem Startbildschirm der barto Input App pro Betrieb eingegeben werden. Die App ist somit mehrbetriebsfähig.



Diese Login Information ist betriebs- aber nicht personenspezifisch und kann durch den Betriebsleiter oder eine weitere Person (Angestellte, Partner, Auszubildende) zum Verbinden der App mit dem Portal genutzt werden. Voraussetzung ist, dass der Betriebsleiter als von Agate authentifizierte Person die Logindaten einer Drittperson weiter gibt. Die Lösung hat aber den Nachteil, dass sowohl TVD Nummer als auch Lizenznummer persistieren und ein App Nutzer, welcher den Betrieb verlässt nach dem Weggang vom Betrieb sich immer noch auf das entsprechenden Wiesen- und Auslaufjournal einloggen könnte. Organisatorisch lässt sich das Problem lösen, indem der Betriebsleiter die Löschung seines Betriebs in der App beim Abgang der Drittperson vom Betrieb kontrolliert.

6.5.1.2 Nächster Ausbauschritt

Seit November 2019 ist 365FarmNet das technische Fundament von barto. Zu diesem Zweck wurde die Plattform an die Bedürfnisse des Schweizer Marktes angepasst, sogenannt helvetisiert. In der Schweiz tritt die Plattform als barto powered by 365FarmNet auf und wird durch die Barto AG weiterentwickelt, vertrieben und betreut. Ende 2020 ist die Migration des barto Bausteins Wiesen- und Auslaufjournal auf die Plattform barto powered by 365FarmNet geplant.

Im Rahmen dieser Migration sind die folgenden Anpassungen vorgesehen:

- barto powered by 365FarmNet verfügt bereits über ein vom Landwirt abgefülltes Parzellenregister. Für das Wiesen- und Auslaufjournal relevante Grünlandparzellen können aus diesem Parzellenregister in das Wiesenjournal übernommen werden.
- Einträge ins Wiesenjournal werden aus dem Feldkalender ermöglicht (Dokumentieren -> Arbeitsvorgänge). Dabei können die vordefinierten Favoriten für Hof- und Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel und die Maschinenliste aus der Plattform mitgenutzt werden.
- Der Nutzer erhält die Möglichkeit die Tiergruppen und die darin enthaltenen Tierkategorien zu verwalten. Zum Beispiel können die Mutterkuhhalter die Tiere mehrerer Rinderkategorien als Gruppe führen. Oder falls mehrere Gruppen einer Tierkategorie gehalten wird, können diese einzeln geführt werden. Gerade bei der Dokumentation des Auslaufs nach Tierschutzgesetz wird je nach Betrieb zuweilen abwechselnd dem einen oder anderen Läger der Milchkühe oder des Jungviehs Auslauf gewährt.

6.5.2 Verbindung

Die Web-Lösung nutzt den Authentisierungsservice von Agate und ist als Baustein in barto, respektive zukünftig als Baustein in barto powered by 365FarmNet integriert. Die App funktioniert zurzeit ohne Authentisierung über Agate.

Durch die zentrale Datenablage kann bei entsprechender Freigabe durch den Landwirt die Dokumentation des Auslaufs elektronisch an mögliche Drittbausteinpartner weitergegeben werden.

6.5.3 Processing / Speicher

Die Daten des Auslaufjournals werden händisch, resp. halbautomatisch durch Vererbung der Tageseinträge auf den Folgetag durch den Tierhalter im Web-GUI oder auf der Barto Input App erfasst.

Die Applikation des Wiesen- und Auslaufjournals inkl. Datenbank wird auf Microsoft Azure Westeuropa betrieben. Sobald Microsoft den Service auch in der Schweiz anbietet, wird die Applikation migriert (vorgesehen für 2. Hälfte 2020).

6.5.4 Energie

Die Lösung läuft auf jedem internetfähigen Desktop, Laptop und die App auf IOS und Android Mobiltelefonen. Es sind weder am Tier noch im Stall energieverbrauchende Sensoren im Einsatz.

6.5.5 Identifizierung

Die kleinste Einheit ist die Tierkategorie gemäss Alters-, Nutzungs- oder Geschlechtskategorisierung gemäss Direktzahlungsverordnung, DZV; SR 910.13 Art. 73 Tierkategorien. In der Form von Notizen kann die tägliche Kategorieninformation mit Informationen zu Einzeltieren (Ohrmarkennummer) ergänzt werden. Dies kann zum Beispiel genutzt werden, wenn ein Tier aufgrund von Krankheit im Stall bleibt und der Rest der Kategorie weidet.

Quellsystem für die Tieridentitäten ist und bleibt die Tierverkehrsdatenbank.

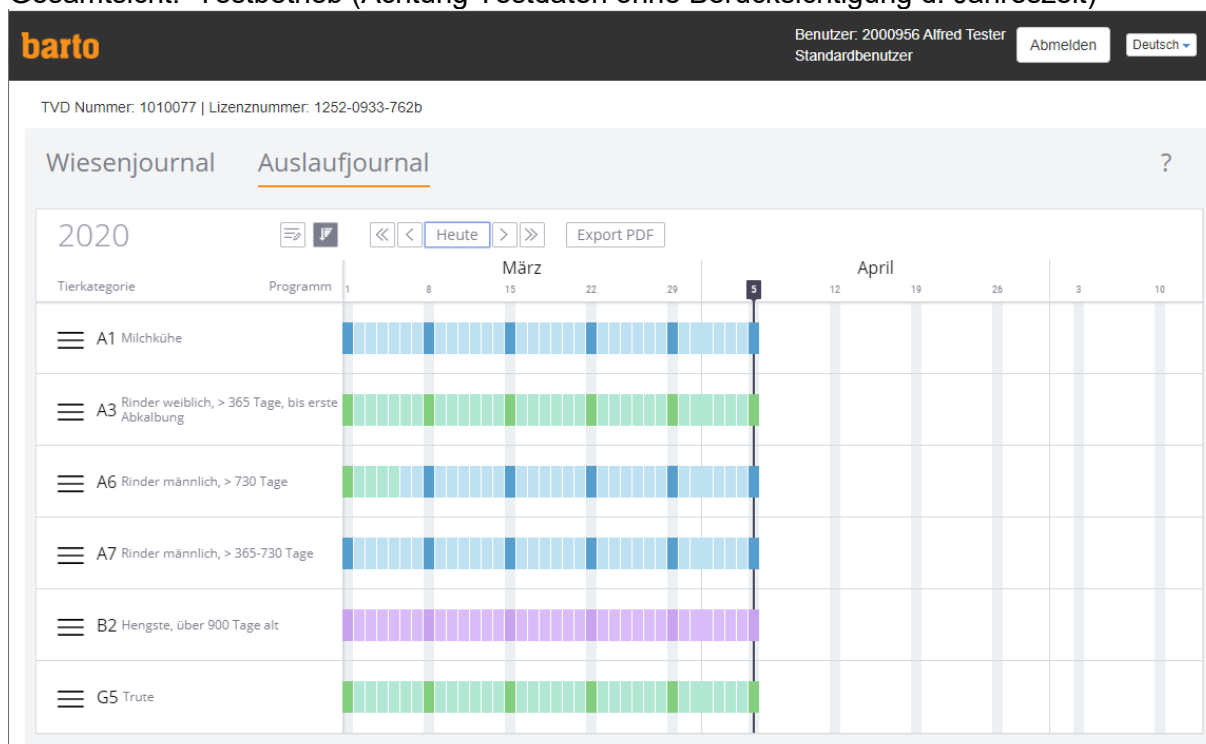
6.5.6 Lokalisierung

Die Lokalisierung erfolgt manuell durch den Landwirt indem er den Aufenthaltsort der Kategorie festhält. Bei Weide kann die Parzelle durch Name und Grösse spezifiziert werden. Künftig sind die Grünlandflächen in barto powered by 365FarmNet georeferenziert abgebildet.

6.5.7 Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Integriert als Baustein in barto und künftig in barto powered by 365FarmNet.

Gesamtsicht: Testbetrieb (Achtung Testdaten ohne Berücksichtigung d. Jahreszeit)



Tagesansicht pro Kategorie (Modal im GUI und Barto Input App)

6.5.8 Datenschutz / Datenfreigabe

barto powered by 365FarmNet arbeitet treuhänderisch im Auftrag des Landwirts, welcher den Baustein lizenziert hat. Die erfassten Daten gehören dem Landwirt. Sie liegen auf den Systemen der Barto AG und deren Servicepartner. Der zweckgebundene Umgang mit den Daten ist über Auftragsdatenverarbeitungsverträge mit den Servicepartnern geregelt.

Der Landwirt bestimmt über das Buchen von weiteren Bausteinen (Drittbausteinen), wer Zugriff auf seine Auslaufjournal Daten erhält. Es obliegt einem allfälligen Interessenten an den Daten den entsprechenden Drittbaustein zu erstellen und im Bausteinshop zur Verfügung zu stellen. Dritte wie Behörden, Aktionäre der Barto AG oder Kontrollorganisationen haben keinen Zugriff auf die Daten. Bisher hat noch kein potentieller Interessent an Auslaufjournaldaten entsprechenden Bedarf bei barto geltend gemacht.

Die Daten (Tierkategorie pro Tag und Aufenthaltsort inkl. optional erfasste Zusatzinformationen) werden bei Microsoft Azure Westeuropa gehostet.

Mitarbeitende von Barto AG und des Support haben keinen Einblick in die Daten, respektive auf die Benutzeroberflächen des Users. Falls notwendig, z.B. Support Fällen kann die Sicht auf die Oberfläche des Nutzers durch Team-Viewer hergestellt werden, allerdings nur unter Aufsicht des Nutzers.

6.5.9 Kosten

Aktuell ist das Wiesen- und Auslaufjournal für die Landwirte kostenlos. Sobald die Funktion auf der Plattform barto powered by 365FarmNet angeboten wird, ist eine jährliche Lizenzgebühr von CHF 25.- fällig.

6.5.10 Akzeptanz, Anzahl Nutzer

Stand 01. Juni 2020 wird das Wiesen- und Auslaufjournal von barto powered by 365FarmNet von 1036 Betrieben lizenziert. Dass der Baustein aktuell gratis nutzbar ist hat sich sicher positiv auf die Nutzerzahlen ausgewirkt.

Eine technische Lösung hat am Markt Erfolg wenn sie Kosten reduziert oder messbar Arbeitszeit reduziert. Das Sichern von Direktzahlungen gilt als weiteres Motiv.

6.5.11 Wirtschaftliche Machbarkeit

Die Barto AG hat festgelegt, dass das Anbieten der elektronischen Dokumentationswerkzeuge zum Belegen der ÖLN und Tierschutzkonformität zu den Kernaufgaben gehört. Daher wurde der Baustein konzipiert und implementiert. Er gehört zum Gesamtpaket im Rahmen des gesamtbetrieblichen Ansatzes von barto powered by 365FarmNet.

6.5.12 Kosten für den technischen Betrieb

Die Betriebskosten belaufen sich z.Z. auf CHF 17 Tausend pro Jahr (Erste Lösung auf Azure). Mit weiteren Bausteinen können die Kosten auf mehrere Bausteine verteilt werden und sinken entsprechend.

6.5.13 Notwendigkeit eines Pilotprojektes

Ein Pilotprojekt ist nicht notwendig, da Lösung bereits realisiert wurde.

6.5.14 Kontrollierbarkeit

Das System basiert auf Selbstdeklaration durch den Tierhalter. Die Dokumentation kann sowohl für das Auslaufjournal, als auch das Wiesenjournal als PDF Formular ausgedruckt und im Rahmen einer angemeldeten oder unangemeldeten Betriebskontrolle vorgewiesen und durch die Kontrollperson visiert werden. Ein elektronisches Visum ist bis dato nicht vorgesehen.

Auslaufjournal 2020

1010077, Testbetrieb1010077, XXXXXXXXXXXX

Blatt 1 von 6
Ausdruck vom 05 April 2020

[illegible]

6.5.15 Zeitliche und rechtliche Machbarkeit, Machbarkeit Datenflüsse

6.5.15.1 Zeitlich

Die Lösung ist bereits umgesetzt und wird nun im Rahmen der Migration auf 365FarmNet aufgrund der Rückmeldungen der Lizenznehmer verbessert und nutzerfreundlicher gestaltet.

Dies nach dem Grundsatz, dass bereits erfasste Daten nicht erneut eingegeben werden sollten.

6.5.15.2 Rechtlich

Die Lösung basiert auf den Vorgaben des Bundes zur Dokumentation von Auslauf und Weidegang der Nutztiere nach Tierschutzgesetz, Tierschutzverordnung und RAUS Programm.

Die Lösung wurde im Sommer 2019 der KIP (Deutschschweiz) und PIOCH (Romandie) präsentiert. Die beiden Organisationen repräsentieren die Kontrollorganisationen, welche mit der Kontrolle der ÖLN Vorgaben des Bundes betraut sind. Die Lösung wurde akzeptiert. Bisher sind keine Rückmeldungen bei Barto AG eingegangen, dass das Auslaufjournal von Barto bei einer Betriebskontrolle nicht akzeptiert worden wäre.

6.5.16 Datenflüsse

Bisher stellt das Wiesen- und Auslaufjournal eine Insellösung dar. Die Barto AG ist Lizenznehmer des Animal Tracing Webservice des BLW. Im Rahmen der Nutzung von barto powered by 365FarmNet stimmt der Tierhalter mit dem Akzeptieren der AGB's zu, dass barto zur Erbringung der Services auf den Animal Tracing Webservice zurückgreifen darf.

Daher kann barto einerseits die Auflösung der eingeloggten Person zu den zugewiesenen Betrieben vornehmen und andererseits die Tierbestände nach aktuellem Stand der TVD den verschiedenen Bausteinen zur Verfügung stellen.

Mit dem Datencontainer Auslaufjournal steht bereits eine Datenstruktur zur Verfügung um Daten über den Aufenthaltsort von Kategorien oder sogar Einzeltieren von einem Sensor (Antenne, Kamera, Bewegungsmelder etc.) abzulegen und in den Gesamtkontext Betrieb zu setzen.

6.5.17 internationale Erfahrungen

Das Wiesen- und Auslaufjournal von barto powered by 365FarmNet ist auf die Begebenheiten der Schweiz ausgelegt. Bedürfnisse zur Dokumentation des Weidegangs bestehen von Seite der Label Organisationen und des Marktes auch in Deutschland und Österreich.

Mittelfristig besteht das Potential, das Wiesen- und Auslaufjournal auf der Plattform 365FarmNet auch in anderen Märkten anzubieten. In Deutschland besteht vorab von Seite von Vermarktungsorganisationen das Bedürfnis nach Dokumentation des Auslaufs.

6.5.18 weitere relevante Informationen

Es ist denkbar, dass die Datenstruktur des Wiesen- und Auslaufjournals von barto powered by 365FarmNet von automatisierten Datenquellen angesprochen werden kann (Tiergruppenlokalisierung durch Sensoren).

6.5.19 Vor- und Nachteile

6.5.19.1 Vorteile

- Einfache Erfassung der Einträge durch Teilautomatisierung. Nur Abweichungen vom Vortag müssen dokumentiert werden.
- Verknüpfung von Auslauf- und Weidejournal reduziert die redundante Datenerfassung
- Struktur für Datenerfassung, Datenhaltung und Reporting sind bereits vorhanden.
- Verglichen mit jeder technischen Lösung (RFID Ohrmarken und Antennen, Bildererkennung, etc.) sehr günstig, da auch diese Systeme die Verarbeitung, Ablage und Reporting der Daten mitanbieten müssen.

- Weitergabe der Daten aus der Plattform 365FarmNet über die Connect Schnittstellen an Drittbausteine möglich, falls Drittbaustein Interesse an den Daten haben. Die Interessenten stellen einen entsprechenden Baustein auf barto powered by 365FarmNet zur Verfügung.

6.5.19.2 Nachteile

- Kleinste Einheit ist zurzeit die Kategorie gemäss Definition Landwirtschaftliche Begriffsverordnung Artikel 73. Das Auslaufjournal ist ein Tool mit Gruppenfokus. Die lückenlose Dokumentation der Aufenthalte des Einzeltieres (Abweichungen von der Gruppe) ist nur mit händischem Zusatzaufwand möglich.
- In Zukunft mit CHF 25.00 pro Jahr und Betrieb teurer im Vergleich mit Papierlösung von AGFF und Agridea < CHF 10.00 für Material und Zustellporto.

6.5.20 Anforderungen an das Bundesamt für Landwirtschaft

Von praktizierenden Landwirten wird immer wieder gefordert, dass die Mehrfacherfassung von Daten reduziert werden muss. Mehrwert entstehe für den Nutzer durch das Fließen der erfassten Daten zwischen den Systemen.

Die folgenden Anforderungen gehen über den Fokus Auslaufdokumentation hinaus.

Systeme wie Hoduflu und AGIS müssen mit Webservices ergänzt werden, welche basierend auf einem Rechte- und Rollenmodell den Datenbezug oder gegebenenfalls das Daten schreiben durch Drittsysteme erlauben. Die TVD verfügt mit Animaltracing einen entsprechenden Webservice, der bereits über 15 Jahre erfolgreich im Betrieb ist und von über 20 Drittsystemen benutzt wird.

Es ist wünschenswert, dass Stammdaten (Tierkategorien und deren Ausscheidungswerte, Kulturbezeichnungen, offizielle Sortenlisten, Nährstoffentzüge etc.) und deren Identifikatoren von zentraler Stelle bereitgestellt und durch Webservices abgerufen werden können. Dies reduziert den Stammdatenverwaltungsaufwand auf allen Stufen und erlaubt das Bereitstellen von Dokumentations- und Entscheidungshilfen für Landwirte basierend auf „offiziellen“ Stammdaten.

7 Analyse der Varianten

Die Auslegeordnungen der Experten im Kapitel 6 zeigen auf, dass es innerhalb der beschriebenen Varianten verschiedene Untervarianten für die Lokalisation der Tiere gibt. Zur besseren Unterscheidung sprechen wir im Folgenden von Technologien.

Im folgenden Kapitel werden 6 von den Experten beschriebene Technologien analysiert und beurteilt:

1. Technologie 1: Radiofrequenz-Identifikationssysteme mit Niederfrequenz LF-RFID (passives System mit Antennen)
2. Technologie 2: Radiofrequenz-Identifikationssysteme mit Ultrahochfrequenz UHF-RFID (passives System mit Antennen)
3. Technologie 3: Globales Navigationssatellitensystem GNSS (aktives System mit intelligenten Marken)
4. Technologie 4: Wireless Technologien (aktives System mit intelligenten Marken)
5. Technologie 5: Bildverfahren (aktives System mit Kameras)
6. Technologie 6: teilautomatisiertes System (elektronisches Auslaufjournal)



8 Bewertung der Technologien

8.1 Bewertung der Technologien 1 bis 5 durch Projektleitung auf Basis der Aussagen der Experten

	1 LF-RFID		2 UHF-RFID		3 GNSS		4 Wireless		5 Bildverfahren	
Beurteilungskriterium	Vorteile / Chancen	Nachteile / Risiken	Vorteile / Chancen	Nachteile / Risiken	Vorteile / Chancen	Nachteile / Risiken	Vorteile / Chancen	Nachteile / Risiken	Vorteile / Chancen	Nachteile / Risiken
Stand der Technik für die vorgesehene Verwendung	auf dem Markt etabliert (Ohrmarke, Halsband, Bolus, Fesselband); oft im Einsatz (Kraftfutterstationen / Melkstände)	Aufwand Installation Antennen und Umbau für Tiervereinzelung	Verwendung bisher v.a. im Logistikbereich	Hardwareaufbau (Antennen), bisher kein Durchbruch in Tierhaltung, momentan keine gesetzeskonformen UHF-Ohrmarken vorhanden, viel Entwicklungsaufwand nötig	Vielzahl von erhältlichen Sensoren für Einsatz am Tier zeigt eine gewisse technologische Reife; Ceres-Tag: ausser Empfängern keine Bodeninfrastruktur notwendig	Tendenziell grössere und schwerere Tags im Vergleich zu passiven Ohrmarken (weniger Potential für Einsatz bei kleineren Nutztieren als Rindvieh), Energieverbrauch reduziert die mögliche Häufigkeit der Messungen, Technologie muss für die Schweiz validiert werden	Vielzahl erhältlicher Sensoren für Einsatz am Tier zeigt eine gewisse technologische Reife; weniger Energieaufwand als GNSS	Grössere / schwerere Tags als herkömmliche Ohrmarken (weniger Potential für Einsatz bei Klein-Wiederkäuern), schwerfällige Infrastruktur (Antennen, Verwaltungscomputer, Internetverbindung und Stromquelle), permanente / semi-permanente Infrastruktur erfordert Energie (erhöht logistische Anforderungen)	Zählen von Tieren an einem Tor möglich; technische Fortschritte in anderen Bereichen können relativ einfach und schnell übersetzt werden. Leistungssprünge sind wahrscheinlich	Nachteile sind beträchtlich, die Lösungen zu ihrer Abmilderung sind kompliziert und schwerfällig; grosse Datenmenge; Datenschutz betroffenen wegen unvermeidlicher Personenaufnahmen
Erfassungssicherheit der Tiere	Hoch	Lesereichweite <1m, nur Einzeltiere, Risiko von Störungen durch	Lesereichweite bis 12m, mehrere Hundert Transponder gleichzeitig ablesbar	Keine Erfassung, wenn Metall, Wasser, Körperteile (z.B. Ohr) im Weg	Im Gegensatz zu lokalen Messungen ist die GNSS-Messung opti-	Positionierungsmessungen innerhalb geschlossener Gebäude, in einem Wald oder in einer Stadt mit hohen	Regelmässige Lokalisierung möglich; Reichweiten von	Zur Beseitigung von Unsicherheiten über eine bestimmte Position in den drei Raumachsen		Technologie noch nicht zufriedenstellend, um die Tiere jederzeit zu verfolgen und

		andere Transponder	(Gruppenerfassung)	sind, ungewollte Erfassungen im Umfeld der Antennen	mal für Weiden und Bergweiden	Gebäuden unsicher bis unmöglich	mehreren 100 Metern	werden mindestens vier Sendersignale benötigt, aufgrund der Reichweite nicht für Einsatz auf der Weide geeignet (oder Installation zusätzlicher Antennen). Neue Betriebsfrequenzen für Reichweiten von bis zu 1 km sind noch nicht kommerziell erprobt		identifizieren: ungenügend bei ungenügender Beleuchtung,
Positionsgenauigkeit		nur an definierten Durchgängen; Durchgangs <u>richtung</u> schwierig		Durchgangs <u>richtung</u> schwierig	Positionsgenauigkeit im Freien: 2 bis 10m (auf wenige cm reduzierbar mit Zusatzsignalen / Zusatzkosten)	Lokalisierung über GNSS noch fehleranfällig, vor allem im Bereich zwischen außen und innen	Gute Genauigkeit innerhalb des Stallumfangs	Kleiner als 3 m innerhalb Reichweite der Antennen	Verfolgung von Tieren in und in unmittelbarer Nähe von Innenräumen kann sehr gut und ortsgenau sein	Es ist sehr schwierig, den Tieren auf die Weide zu folgen
Betriebsaufwand	Wartungsarm; Haltbarkeit von vielen Jahren	Gewisse Verlusten bei Ohrmarken / Halsbändern				Batteriewechsel		Permanente oder semi-permanente Infrastruktur erfordert Wartung (erhöht logistische Anforderungen)	tieferer Betriebskosten, da der Ausrüstungsbedarf nicht direkt von der Anzahl der Tiere abhängt	
Standard	Standardisiert (ISO)			Für die Tierhaltung nicht vorhanden (Vorarbeiten ICAR und ISO)						

Potential für Synergien mit anderen Anwendungen	Mit GNSS oder Wireless kombinierbar				möglich (z.B. Überwachung Tiergesundheit, ähnlich wie bei SmartBow (Smart Tag von Zoetis))		möglich (z.B. Überwachung Tiergesundheit, ähnlich wie bei SmartBow (Smart Tag von Zoetis))			
Kosten für Landwirt		2'000 bis 10'000 CHF für Hard- und Software (7 CHF je Ohrmarke / 1-4 Antennen pro Tor à 200-500 CHF / Reader 600-1'000 CHF) oder 4'000-10'000 CHF für ein komplettes Tor je nach Anbieter und Ausstattung; Kosten IAM-Vertrag mit Softwarehersteller für Animal Tracing-Schnittstelle: initial 3'000 CHF / jährlich 1'000 CHF		Kosten für Hard- und Software je Betrieb im Bereich von 2'000 bis 10'000 CHF liegen (1-4 Antennen pro Tor à 200-500 CHF; Reader 1'500 bis 3'000 CHF; IAM-Vertrag für AnimalTracing-Schnittstelle: initial 3'000 CHF / jährlich 1'000 CHF)	Installationskosten reduziert, da die Identifikation gewährleistet und das Verfolgungssystem bereits auf einem guten Niveau ist					
Entwicklungskosten		5- bis 6-stelliger Bereich		5- bis 6-stelliger Bereich; höher als bei LF-RFID	Entwicklungskosten für Ortung reduziert, da die Identifikation gewährleistet und das Verfolgungssystem bereits	Hoch (im Vergleich zu anderen Systemen, die nicht tierindividuell arbeiten oder nicht intelligent sind)		Hoch (im Vergleich zu anderen Systemen, die nicht tierindividuell arbeiten oder nicht intelligent sind)		

					auf einem guten Niveau ist					
--	--	--	--	--	----------------------------	--	--	--	--	--

8.2 Bewertung der Technologie 6 (teilautomatisiertes elektronisches Auslaufjournal)

Das elektronische Wiesen- und Auslaufjournal existiert und wird weiterentwickelt. Die Akzeptanz ist vorhanden und die Anzahl der Benutzer steigt stetig an.

Eine Verknüpfung auf das Einzeltier und eine Verbindung mit den Ohrmarken ist derzeit nicht geplant. Barto hegt kein Interesse, ihr Tool zu einem Pflichtinstrument der Landwirte zu machen.

Als alleinige Technologie für die Ziele dieses Projekts macht die Weiterentwicklung des teilautomatisierten Auslaufjournals deshalb keinen Sinn.

Hingegen könnte bei der Erstellung der Software für die anderen Technologien (Technologien 1 bis 5) Zeit eingespart werden, wenn auf bereits bestehende Teile von Barto zurückgegriffen werden kann.

Es wird deshalb vorgeschlagen, die Koordination und Kooperation mit Barto bei einem allfälligen Projekt als Option vorzusehen.



8.3 Schlussfolgerungen durch Projektleitung auf Basis der Aussagen der Experten

Nach Meinung der Experten haben alle untersuchten Technologien, wie in Kapitel 8.3 dargestellt, gewichtige Nachteile für den Einsatz als digitales Auslaufjournal. Es gibt aktuell keine schnelle, einfache und sichere Lösung für ein digitales Auslaufjournal auf dem Markt, welches die Anforderungen zur Umsetzung eines digitalisierten und automatisierten Auslauf- und Weidejournals abdeckt und sich in einfacher Form in der Schweiz flächendeckend einsetzen liesse.

Als Stolpersteine für ihren Einsatz werden folgende Hauptgründe genannt:

- Technische Reife: die Technologien 2 (UHF-RFID) und 5 (Bildverfahren) werden zum heutigen Zeitpunkt als zu wenig weit entwickelt beurteilt, um sie als kommerzielle Ortungssysteme einzusetzen. Die Experten empfehlen bei diesen beiden Varianten, auf Variante 5 («Wait and Look») zu setzen. Mehr Potential haben die Technologien 1 (LF-RFID), 3 (GNSS) und 4 (Wireless).
- Interesse von Herstellern: Die Ziele eines digitalen Auslaufjournals sind spezifisch schweizerisch und decken die typischen Ziele der Hersteller von digitalisierten Tierüberwachungssystemen nur teilweise ab (Gesundheitsüberwachung, Lokalisierung der Tiere auf grossen Weiden vom Typ "Ranching-System", «offenes Weideland»). Die Umsetzung müsste mit dem Hersteller besprochen werden und ergibt keine Erfolgsgarantie.
- Erfassungsqualität: Es besteht bei jeder Technologie ein Risiko für Fehlerfassungen, insbesondere wenn die Erfassung sowohl im Gebäudeinnern als auch im Freien erfolgen soll. Die Experten sehen ein Verbesserungspotential, wenn verschiedene Technologien kombiniert würde. Dies würde die Erfassungssicherheit verbessern.
- Akzeptanz: ein isoliertes System für die Ortung zu erstellen wird in der Anschaffung und im Betrieb als zu aufwändig beurteilt, um als attraktive Variante für das Auslaufjournal auf Papier zu dienen. Die Experten sind der Meinung, dass die Kombination mit bestehenden, standardisierten Technologien (z.B. Herdenmanagement, Überwachung Tiergesundheit, Tiersortierung oder andere Dokumentationsaufgaben) erfolgsversprechender sein wird.

Die Experten empfehlen deshalb, keine der untersuchten Varianten und Technologien isoliert einzuführen.

Eine Verbesserung des Systems und eine Erhöhung der Chance auf eine praktikable Lösung kann die Kombination zweier oder mehrerer Technologien ergeben. Es müssen aber diverse Herausforderungen überwunden, technische Probleme gelöst und vorab nicht absehbare Unwägbarkeiten bei der Nutzung des Systems überprüft werden. Zur Klärung müssten diverse Tests unter realistischen Bedingungen und schweizerischen Gegebenheiten durchgeführt werden. Ein digitales Auslaufjournal erscheint – ohne Erfolgsgarantie – auf diese Weise machbar.

9 Empfehlung der Experten

Aus Sicht der Experten wäre dazu zwingend ein Pilotprojekt notwendig. Dies würde eine bessere Bewertung von Leistung und Möglichkeiten ermöglichen. Sie wären aber auch eine großartige Forschungs- und Entwicklungsplattform für Hersteller, was einen An Schub der weiteren Digitalisierung in diesem Bereich bedeuten würde.

Es wird ein hybrides System vorgeschlagen, das seine Position per GNSS außerhalb des Stalles misst und andere Technologien verwendet, wenn es keine Positionsdaten mehr empfängt.

Anhang: Glossar und Referenzen zu den Varianten 2 (Smart Ear Tag: aktive Systeme) und 3 (Video-Überwachung und Bild-Analyse) von Identitas

Glossar:

BDTA	Base de données du trafic des animaux
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
CSEM	Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique
EHT	Energy Harvesting Technologies (technologies de récolte d'énergie)
GDPR données)	General Data Protection Regulation (Règlement général sur la protection des
GNSS	Global Navigation Satellite System (système de positionnement par satellite)
IoF2020	Projet Internet of Food & Farm 2020
IoT	Internet of Things – Internet des objets
LoRa	Longe Range technology – Technologie LoRa (système de communication)
OFAG	Office fédéral de l'agriculture
PPG	Photoplethysmogramme
RFID	Radio-frequency identification
SATCOM	Système de télécommunication par satellite
SRPA	Sorties régulières en plein air
SST	Systèmes de stabulation particulièrement respectueuse des animaux

Referenzen :

- [1] M. Porter and J. Heppelmann, "How smart, connected products are transforming competition," *Harvard business review*, vol. 92, no. 11, pp. 64-88, 2014.
- [2] S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw and M.-J. Bogaardt, "Big Data in Smart Farming – A review," *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69-80, 2017.
- [3] ICAR, "Section 10 - Guidelines for Animal Identification Device Testing & Certification," Février 2018.
- [4] J. Stachowicz and C. Umstätter, "Übersicht über kommerziell verfügbare digitale Systeme in der Nutztierhaltung : Angebot für Milchkühe am grössten, für Mast- und Milchschafe sowie Ziegen am kleinsten.," *Agroscope Transfer*, vol. 294, pp. 1-28, 2020.
- [5] MKW electronics GmbH, "User Manual: E093 SMARTBOW Eartag," Smartbow, 2014.

- [6] B. Wolfger, B. Jones, K. Orsel and J. Bewley, "Technical note: Evaluation of an ear-attached real-time location monitoring system," *Journal of Dairy Science*, vol. 100, no. 3, pp. 2219-2224, 2017.
- [7] G. M. Mendoza-Silva, J. Torres-Sospedra and J. Huerta, "A Meta-Review of Indoor Positioning Systems," *Sensors*, vol. 19, no. 20, p. 4507, 2019.
- [8] M. Pastell, L. Frondelius, M. Järvinen and J. Backman, "Filtering Methods to Improve the Accuracy of Indoor Positioning Data for Dairy Cow," *Biosystems Engineering*, vol. 169, pp. 22-31, 2018.
- [9] Zoetis, "<https://www.smartbow.com/>," [Online]. Available: <https://www.smartbow.com/>. [Accessed 03 March 2020].
- [10] MKW electronics GmbH, "User Manual: W010 SMARTBOW Wallpoint," Smartbow, 2015.
- [11] Quectel, "Datasheet: L70-R," 2017.
- [12] G. Paller, S. Aubin and O. Camp, "Cost-efficient Localisation System for Agricultural Use Case," in *Proceedings of the 6th International Conference on Sensor Networks (SENSORNETS 2017)*, 2017.
- [13] I. Halachmi, M. Guarino, J. Bewley and M. Pastell, "Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production," *Annual Review of Animal Biosciences*, vol. 7, pp. 403-25, 2017.
- [14] N. de Weerd, F. van Langevelede, H. van Oeveren, B. A. Nolet, A. Kölzsch, P. H. Herbert and F. W. de Boer, "Deriving Animal Behaviour from High-Frequency GPS: Tracking Cows in Open and Forested Habitat," *Plos One*, vol. 10, no. 6, 2015.
- [15] Ceres Tag Ltd et communications personnelles, [Online]. Available: <https://www.cerestag.com/>. [Accessed 11 March 2020].
- [16] mOOvement, "Cattle Tracking," [Online]. Available: <https://www.moovement.com.au/how-it-works>. [Accessed 11 March 2020].
- [17] Office fédéral de topographie swisstopo, "Swiss Positioning Service (swipos)," 2017.
- [18] Bosch Sensortec, "BMA400 Datasheet," July 2018.
- [19] A. Tarniceriu, J. Harju, A. Vehkaoja, J. Parak, R. Delgado-Gonzalo, P. Renevey, A. Yli-Hankala and I. Korhonen, "Detection of Beat-to-Beat Intervals from Wrist Photoplethysmography in Patients with Sinus Rhythm and Atrial Fibrillation after Surgery," in *BHI*, 2018.
- [20] K. Shelley, "Photoplethysmography: Beyond the Calculation of Arterial Oxygen Saturation and Heart Rate," *Anesthesia & Analgesia*, vol. 105, no. 6, pp. S31-S36, 2007.
- [21] G. W. Kirschen, D. D. Singer, H. C. J. Thode and S. Adam J., "Relationship between body temperature and heart rate in adults and children: A local and national study," *The American Journal of Emergency Medicine*, p. In press, 2019.
- [22] Ava Women, [Online]. Available: <https://www.avawomen.com/>. [Accessed 24 March 2020].

- [23] Internet of Food 2020, "Interoperable Pig Health Tracking," [Online]. Available: <https://www.iof2020.eu/trials/meat/interoperable-pig-tracking>. [Accessed 24 March 2020].
- [24] Internet of Food and Farm 2020, [Online]. Available: <https://www.iof2020.eu/>. [Accessed 24 March 2020].
- [25] K. Schirmann, M. Keyserlingk, D. Weary, D. Veira and W. Heuwieser, "Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows," *Journal of dairy science*, vol. 92, p. 6052, 2009.
- [26] moow, [Online]. Available: <http://www.moow.farm/>. [Accessed 24 March 2020].
- [27] eCow Ltd, [Online]. Available: <https://ecow.co.uk/>. [Accessed 24 March 2020].
- [28] S. Buijs, C. Nicol, F. Booth, G. Richards and J. Tarlton, "Light-based monitoring devices to assess range use by laying hens," *Animal*, vol. 14, no. 4, pp. 814-823, 2020.
- [29] Connecterra, "Ida," [Online]. Available: <https://www.connecterra.io/>. [Accessed 24 March 2020].
- [30] Data Driven Dairy Decision For Farmers (4D4F), "Best practice guide on Activity & Behaviour," 2017.
- [31] K. Dolecheck, W. Silvia, G. J. Heersche, Y. Chang, D. Ray, A. Stone, B. Wadsworth and J. Bewley, "Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies," *Journal of Dairy Science*, vol. 98, no. 12, pp. 8723 - 8731, 2015.
- [32] L. Mayo, W. Silvia, D. Ray, B. Jones, A. Stone, I. Tsai, J. Clark, J. Bewley and G. J. Heersche, "Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows," *Journal of Dairy Science*, vol. 102, no. 3, pp. 2649-2656, 2019.
- [33] J. Roelofs, C. Krijnen and E. van Erp-van der Kooij, "The effect of housing condition on the performance of two types of activity meters to detect estrus in dairy cows," *Theriogenology*, vol. 93, no. ISSN 0093-691X, pp. 12-15, 2017.
- [34] V. Schweinzer, E. Gusterer, P. Kanz, S. Krieger, D. Süss, L. Lidauer, A. Berger, F. Kicking, M. Öhlschuster, W. Auer, M. Drillich and M. Iwersen, "Evaluation of an ear-attached accelerometer for detecting estrus events in indoor housed dairy cows," *Theriogenology*, vol. 130, no. ISSN 0093-691X, pp. 19-25, 2019.
- [35] S. Krieger, M. Oczak, L. Lidauer, A. Berger, F. Kicking, M. Öhlschuster, W. Auer, M. Drillich and M. Iwersen, "An ear-attached accelerometer as an on-farm device to predict the onset of calving in dairy cows," *Biosystems Engineering*, vol. 184, no. ISSN 1537-5110, pp. 190-199, 2019.
- [36] J. Werner, C. Umstätter, L. Leso, E. Kennedy, A. Geoghegan, L. Shalloo, M. Schick and B. O'Brien, "Evaluation and application potential of an accelerometer-based collar device for measuring grazing behavior of dairy cows," *animal*, vol. 13, no. 9, pp. 2070-2079, 2019.
- [37] G. A. Miller, M. Mitchell, Z. E. Barker, K. Giebel, E. A. Codling, J. R. Amory, C. Michie, C. Davison, C. Tachtatzis, I. Andonovic and C.-A. Duthie, "Using animal-

mounted sensor technology and machine learning to predict time-to-calving in beef and dairy cows," *animal*, pp. 1751-7311, 2020.

- [38] M. Rombach, A. Münger, J. Niederhauser, K.-H. Südekum and F. Schori, "Evaluation and validation of an automatic jaw movement recorder (RumiWatch) for ingestive and rumination behaviors of dairy cows during grazing and supplementation," *Journal of Dairy Science*, vol. 101, no. 3, pp. 2463-2475, 2018.
- [39] R. Sanchez-Iborra, J. Sanchez-Gomez, J. Ballesta-Viñas, M.-D. Cano and A. F. Skarmeta, "Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 18, no. 3, p. 772, 2018.
- [40] Lora Alliance, "A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™," November 2015.
- [41] Alptracker AG, [Online]. Available: <https://www.alptracker-ag.ch>. [Accessed 11 March 2020].
- [42] Swisscom AG, "Factseet - Enterprise IoT - Low Power Network (LoRaWAN)," 2019. [Online]. Available: https://documents.swisscom.com/product/filestore/lib/447c2f79-d33d-4f63-b700-b06c4095fa79/fs_lpn-en.pdf. [Accessed 11 March 2020].
- [43] WiFi Alliance, "Wi-Fi HaLow," [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-halow-et-spécifications-citées-sur-la-page>. [Accessed 11 March 2020].
- [44] GSMA, "Whitepaper - Mobile IoT in The 5G Future," [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/4a8d35/assets/local/networks/documents/gsma-5g-mobile-iot.pdf>. [Accessed 11 March 2020].
- [45] Moocall, "Moocall Website," [Online]. Available: <https://moocall.com>. [Accessed 17 March 2020].
- [46] Astrocast, [Online]. Available: <https://www.astrocast.com/>. [Accessed 19 March 2020].
- [47] Fever Tags, [Online]. Available: <https://fevertags.com/>. [Accessed 17 March 2020].
- [48] S. Krug and M. O'Nils, "Modeling and Comparison of Delay and Energy Cost of IoT Data Transfers," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 58654-58675, 2019.
- [49] A. S. Dahiya, J. Thireau, J. Boudaden, L. Swatchith, U. Gulzar, Y. Zhang, T. Gil, N. Azemard, P. Ramm, T. Kiessling, C. O'Murchu, F. Sebelius, J. Tilly, C. Glynn, S. Geary, C. O'Dwyer, K. Razeed, A. Lacampagne, B. Charlot and A. Todri-Sanial, "Energy Autonomous Wearable Sensors for Smart Healthcare: A Review," *Journal of The Electrochemical Society*, Electrochemical Society, 2019, JES Focus Issue on Sensor Reviews, vol. 167, no. 3, 2019.
- [50] F. Ünlü, L. Wawrla and A. Díaz, "Energy Harvesting Technologies for IoT Edge Devices," *Energy Efficient End-Use Equipment Technology Collaboration Programme*, July 2018.
- [51] L. Meile, A. Ulrich and M. Magno, "Wireless Power Transmission Powering Miniaturized Low Power IoT devices: A Review," in *2019 IEEE 8th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI)*, Otranto, Italy, 2019.

- [52] DigitAnimal, [Online]. Available: <https://digitanimal.com/>. [Accessed 19 March 2020].
- [53] R. Lloyd and K. Mertens, "Best Practice Guide on," Data Driven Dairy Decision For Farmers (4D4F), 2017.
- [54] International Telecommunication Union (ITU), "ICT Security Standards Roadmap," [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com17/ict/Pages/default.aspx>. [Accessed 09 April 2020].
- [55] T. Benschop, C. Machingauta and M. Welch, Statistical Disclosure Control for Microdata: Theory, World Bank, 2018.
- [56] copa-cogeca, "EU Code of conduct on agricultural data sharing by contractual agreement," 2018.
- [57] Data Science Alliance, "Ethical Code for Data-Based Business," [Online]. Available: <https://data-service-alliance.ch/innovation/ethics>. [Accessed 23 April 2020].
- [58] R. Sohm, "Datenschutz im Agrarrecht," in Smart Farming: Von Landtechnik bis Big Data. Rechtsfragen einer digitalisierten Landwirtschaft, Luzern, 2018.
- [59] "Schutz von Daten – eine rechtliche Einordnung," in Jahrestagung der Chartagemeinschaft Digitalisierung, Zollikofen, 2019.
- [60] Office fédéral de topographie swisstopo, "Permanent Network Information Service," [Online]. Available: <http://pnac.swisstopo.admin.ch/index.html>. [Accessed 25 March 2020].
- [61] schweizerbauer.ch - Michael Götz, "Die intelligente Ohrmarke," Schweizer Bauer, 20 Février 2019.
- [62] IoF2020, "IoF2020 - Uses cases for dairy," [Online]. Available: <https://www.iof2020.eu/trials/dairy>. [Accessed 06 April 2020].
- [63] Smart Agri Hubs, "Tracking Animal Movements and Health Records," [Online]. Available: <https://smartagrihubs.eu/flagship-innovation-experiment/27-FIE-tracking-animal-movements-and-health-records>. [Accessed 06 April 2020].
- [64] C. Rutten, N. Molenaar, P. Hogewerf, S. Van Gosliga and C. Lokhorst, "Field trial to demonstrate the intelligent dairy assistant (IDA) system on dairy farms," in Precision Livestock Farming 2019, 9th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2019, Cork, Ireland, 2019.
- [65] D. Berckmans, "General introduction to precision livestock farming," Animal Frontiers, vol. 7, no. 1, pp. 6-11, 2017.
- [66] D. Jaccoud, Interviewee, L'avenir agricole passe aussi par la robotisation.. [Interview]. Radio Télévision Suisse, 19h30, 30 Mars 2020.
- [67] P. Fankhauser, "Bauern stehen auf Melkroboter," BauernZeitung, 22 juin 2019.
- [68] agristat, "Die Schweizer Landwirtschaft in Zahlen," 2020.
- [69] J. Roosen, "Digitalisierung in Land-und Ernährungswirtschaft," Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., 2017.

- [70] SmartAgriHub, "SmartAgriHub Landing page," [Online]. Available: <https://smartagrihubs.eu/>. [Accessed 06 Avril 2020].
- [71] IoF2020, "Grazing cow monitor," [Online]. Available: <https://www.iof2020.eu/trials/dairy/grazing-cow-monitor>. [Accessed 17 avril 2020].
- [72] A. Villa-Henriksen, G. T. Edwards, A. L. Pesonen, O. Green and C. Grøn Sørensen, "Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential," *Biosystems Engineering*, vol. 191, pp. 60-84, 2020.
- [73] N. M. Trendov, S. Varas and M. Zeng, "Technologies numériques dans le secteur agricole et dans les zones rurales en bref," *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)*, Rome, 2019.
- [74] N. Hostiou, J. Fagon, S. Chauvat, A. Turlot, F. Kling-Eveillard, X. Boivin and C. Allain, "General introduction to precision livestock farming interactions on dairy farms. A review," *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement / Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, vol. 21, no. 4, pp. 268-275, 2017.
- [75] PwC Australia, "Valuing the benefits of the Ceres Tag," 2020.
- [76] L.-P. Chrétien, J. Théau and P. Ménard, "Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of white-tailed deer using an unmanned aerial system," *Wildlife Society Bulletin*, vol. 40, no. 1, 2016.
- [77] N. M. Schroeder, A. Panebianco, R. Gonzalez Musso and P. Carmanchahi, "An experimental approach to evaluate the potential of drones in terrestrial mammal research: a gregarious ungulate as a study model," *Royal Society Open Science*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [78] P. Kunc and I. Knizkova, "The Use of Infrared Thermography in Livestock Production and Veterinary Field," in *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends*, Bentham Books, 2012, pp. 85-101.
- [79] J. Garcia Arnal Barbedo, C. C. G. Gomes, F. Flores Cardoso, R. Domingues, J. Vidart Ramos and C. M. McManus, "The use of infrared images to detect ticks in cattle and proposal of an algorithm for quantifying the infestation," *Veterinary Parasitology*, vol. 235, pp. 106-112, 2017.
- [80] A. Schaefer, N. Cook, J. Church, J. Basarab, B. Perry, C. Miller and A. Tong, "The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves," *Research in Veterinary Science*, vol. 83, no. 3, pp. 376-384, 2007.
- [81] R. Spoliansky, Y. Edan, Y. Parmet and I. Halachmi, "Development of automatic body condition scoring using a low-cost 3-dimensional Kinect camera," *Journal of Dairy Science*, vol. 99, no. 9, pp. 7714-7725, 2016.
- [82] T. Adao, J. Hruska, L. Padua, J. Bessa, E. Peres, R. Morais and J. J. Sousa, "Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 9, p. 1110, 2017.

- [83] J. Ma, D.-W. Sun, H. Pu, J.-H. Cheng and Q. Wei, "Advanced Techniques for Hyperspectral Imaging in the Food Industry: Principles and Recent Applications," *Annual Review of Food Science and Technology*, vol. 10, no. 1, p. 197–220, 2019.
- [84] J. M. Wilkinson, M. R. F. Lee, M. J. Rivero and T. Chamberlain, "Some challenges and opportunities for grazing dairy cows on temperate pastures," *Grass and Forage Science*, vol. 75, no. 1, 2017.
- [85] AI Tend, "AI Tend," [Online]. Available: <https://aitend.com/>. [Accessed 17 avril 2020].
- [86] Z.-Q. Zhao , P. Zheng , S.-T. Xu and X. Wu, "Object Detection with Deep Learning: A Review," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 30, no. 11, pp. 3212 - 3232, 2019.
- [87] L. Liu, W. Ouyang, X. Wang, P. Fieguth, J. Chen, X. Liu and M. Pietikäinen, "Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey," *International Journal of Computer Vision*, vol. 128, pp. 261-318, 2020.
- [88] F. Sarwar, A. Griffin, P. Periasamy, K. Portas and J. Law, "Detecting and Counting Sheep with a Convolutional Neural Network," in *2018 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, Auckland, New Zealand, 2018.
- [89] O. Guzhva, H. Ardo, M. Nilsson, A. Herlin and L. Tufvesson, "Now You See Me: Convolutional Neural Network Based Tracker for Dairy Cows," *Front. Robot. and AI*, 2018.
- [90] K. Wurtz, I. Camerlink, R. B. D'Eath, A. Pena Fernandez, T. Norton, J. Steibel and J. Siegford, "Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review," *PLoS ONE*, vol. 14, no. 12, 2019.
- [91] H. Hu, B. Dai, W. Shen, X. Wei, J. Sun, R. Li and Y. Zhang, "Cow identification based on fusion of deep parts features," *Biosystems Engineering*, vol. 192, pp. 245-256, 2020.
- [92] O. Guzhva, H. Ardö, A. Herlin, M. Nilsson, K. Åström and C. Bergsten, "Feasibility study for the implementation of an automatic system for the detection of social interactions in the waiting area of automatic milking stations by using a video surveillance system.," *Comput Electron Agric.*, vol. 127, pp. 506-9, 2016.
- [93] M. Kashiha, C. Bahr, S. Ott, C. Moons, T. Niewold and F. Ödberg, "Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis," *Comput Electron Agric.*, vol. 107, pp. 38-44, 2014.
- [94] A. Nasirahmadi, U. Richter, O. Hensel, S. Edwards and B. Sturm, "Using machine vision for investigation of changes in pig group lying patterns," *Comput Electron Agric.*, vol. 119, pp. 184-90, 2015.
- [95] A. Shelley, "Monitoring Dairy Cow Feed Intake Using Machine Vision," *University of Kentucky (Master Thesis)*, 2013.
- [96] Cainthus, "Cainthus - Our Technology," [Online]. Available: <https://www.cainthus.com/technology>. [Accessed 15 Avril 2020].

- [97] D.-M. Tsai and C.-Y. Huang, "A motion and image analysis method for automatic detection of estrus and mating behavior in cattle," *Comput Electron Agric.*, vol. 1, pp. 25-31, 2014.
- [98] A. Poursaberi, C. Bahr, A. Pluk, A. Van Nuffel and D. Berckmans, "Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: Shape analysis of cow with image processing techniques," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 74, no. 1, pp. 110-119, 2010.
- [99] D. Wu, Q. Wu, X. Yin, B. Jiang, H. Wang, D. He and H. Song, "Lameness detection of dairy cows based on the YOLOv3 deep learning algorithm and a relative step size characteristic vector," *Biosystems Engineering*, vol. 189, pp. 150-163, 2020.
- [100] W. Li, Wang, L. Wang, C. Sun and X. Yang, "Automatic individual identification of Holstein dairy cows using tailhead images," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 142, no. Part B, pp. 622-631, 2017.
- [101] W. Shen, H. Hu, B. Dai, X. Wei, J. Sun, L. Jiang and Y. Sun, "Individual identification of dairy cows based on convolutional neural networks," *Multimed Tools Appl*, 2019.
- [102] H. Hu, B. Dai, W. Shen, X. Wei, J. Sun, R. Li and Y. Zhang, "Cow identification based on fusion of deep parts features," *Biosystems Engineering*, vol. 192, pp. 245-256, 2020.
- [103] F. Okura, S. Ikuma, Y. Makihara, D. Muramatsu, K. Nakada and Y. Yagi, "RGB-D video-based individual identification of dairy cows using gait and texture analyses," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 165, 2019.
- [104] A. I. Awas and M. Hassalballah, "Bag-of-Visual-Words for Cattle Identification from Muzzle Print Images," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 22, p. 4914, 2019.
- [105] S. Kumar, S. Kumar Singh, A. I. Abidi, D. Datta and A. Kumar Sangaiah, "Group Sparse Representation Approach for Recognition of Cattle on Muzzle Point Images," *International Journal of Parallel Programming*, vol. 46, pp. 812-837, 2018.
- [106] Fancom BV, "eYeNamic™ behaviour monitor for broilers," [Online]. Available: <https://www.fancom.com/solutions/biometrics/eyenamic-behaviour-monitor-for-broilers>. [Accessed 29 mai 2020].
- [107] SKOV A/S, [Online]. Available: <https://www.skov.com/en/pig/Pages/Progr.aspx>. [Accessed 29 mai 2020].
- [108] Ro-Main Inc., "The Ro-Main smaRt suite," [Online]. Available: http://www.ro-main.com/en/products/details_products.php?no_produit=54. [Accessed 02 juin 2020].
- [109] corvitac GmbH , [Online]. Available: <https://corvitac.com>. [Accessed 02 juin 2020].