

**Abondance et densité du lynx dans le Centre du Jura suisse:
Estimation par capture-recapture photographique dans le C-1,
février-avril 2008**



Koordinierte Forschungsprojekte zur Erhaltung und zum Management der Raubtiere in der Schweiz.
Coordinated research projects for the conservation and management of carnivores in Switzerland.
Projets de recherches coordonnés pour la conservation et la gestion des carnivores en Suisse.

KORA Bericht Nr. 43f

Abondance et densité du lynx dans le Centre du Jura suisse: estimation par capture-recapture photographique dans le C-1, février-avril 2008

Autoren
Auteurs
Authors

Julien Fattebert, Simon Caviezel, Batur Avgan,
Christine Breitenmoser-Würsten, Urs Breitenmoser & Fridolin Zimmermann

Bearbeitung
Adaptation
Editorial

Julien Fattebert (mise en page)

Bezugsquelle
Source
Source

KORA, Thunstrasse 31, CH-3074 Muri
T +41 31 951 70 40 / F +41 31 951 90 40
info@kora.ch
pdf document: www.kora.ch

Titelbild
Photo de la page de titre
Front cover picture

B137, 16 mars 2008, Bienne
photo © D. Trachsel / KORA

**Abondance et densité du lynx dans le Centre du Jura suisse:
Estimation par capture-recapture photographique dans le C-1,
février-avril 2008**

Julien Fattebert, Simon Caviezel, Batur Avgan,
Christine Breitenmoser-Würsten, Urs Breitenmoser
& Fridolin Zimmermann

Remerciements

Nous remercions vivement tous ceux qui d'une manière ou d'une autre nous ont aidé et soutenu lors de cette étude. Nos remerciements vont en particulier aux responsables des institutions fédérales et cantonales MM. R. Schnidrig (OFEV/BAFU), T. Briner (OFEV/BAFU) A. Fiechter (Service de la faune, des forêts et de la nature NE) et P. Juesy (Office de l'agriculture et de la nature BE) pour le financement de cette étude, et aux surveillants de la faune, chasseurs ou naturalistes E. Balmer, N. Balmer, S. Balmer, T. Bartlomé, F. Bassin, J.-D. Béguelin, J.-L. Bohrer, N. Bourquin, B. Doutaz, F. Dupré, J.-P. Flück, J. Ganguillet, C. Godel, C. Grünenwald, K. Hasler, U. Haussener, B. Hofer, A. Jaquet, A. Kammermann, B. Lehmann, Y. Leuzinger, A. Lever, F. Maeder, R. Matthey, H.-A. Meister, M. Meyer, V. Nappiot, A. Nikles, N. Rochat, D. Rohrer, A. Romang, S. Roth, J.-L. Sommer, T. Studer, J.-F. Sunier, R. Suter, D. Trachsel, I. Tripet, V. Ulrich, M. Vermot, J.-M. Weber, et C. Zbinden qui nous ont aidé lors du choix des sites, de la mise en place des pièges-photographiques, des contrôles ou du démontage. Nos remerciements vont aussi à A. Pittet du CEDT, IISc Bangalore pour le prêt de pièges photographiques digitaux ainsi qu'à M. Scholl et la Bandgenossenschaft-Berne pour leur soutien technique.

Digitale geographische Daten:

Gewässer und politische Grenzen: GEOSTAT, © Bundesamt für Statistik; Euromaps, © Bartholomew;

Bevölkerungsdichte: GEOSTAT, © Bundesamt für Statistik;

Siedlungen, Verkehrswege und Wald: Vector 200, © Bundesamt für Landestopographie; Euromaps, © Bartholomew;

Digitales Höhenmodell: DHM25, RIMINI, © Bundesamt für Landestopographie; MONA Pro Europe 250 m, © GEOSYS DATA;

Landnutzung: AS85r, AS97, © Bundesamt für Statistik GEOSTAT; CORINE Land Cover, © Bundesamt für Statistik GEOSTAT für die Schweiz und Europäische Umweltagentur für die übrigen Gebiete;

Grenzen des Alpenraumes gemäss der Alpenkonvention: © Réseau Alpin des Espaces Protégés.

Abondance et densité du lynx dans le Centre du Jura suisse: Estimation par capture-recapture photographique dans le C-1, février-avril 2008

Table des matières

	Remerciements	4
	Résumé	6
	Zusammenfassung	6
	Abstract	6
1	Introduction	7
2	Aire d'étude	7
3	Matériel et méthode	8
4	Résultats et discussion	8
4.1	Nombre minimum de lynx	8
4.2	Estimation de l'abondance	9
4.3	Estimation de la densité	9
5	Références	11
6	Annexe : méthodes détaillées	12
6.1	Piégeage photographique	12
6.2	Nombre minimum d'individus indépendants	12
6.3	Estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture	12
6.4	Estimation de l'abondance	13
6.5	Estimation de la densité	13
6.6	Références	14

Résumé - Le piégeage photographique du lynx (*Lynx lynx*) a été effectué durant 60 nuits, du 10 février au 10 avril 2008, dans le centre du Jura suisse. Cinquante-sept sites ont été surveillés à l'aide de paires de pièges photographiques afin de photographier les deux flancs des lynx pour permettre une identification individuelle de manière certaine. Un nombre minimum de six lynx indépendants a été détecté au cours des deux mois d'échantillonnage. L'estimation de l'abondance par le modèle de capture-recapture M_h était de $7,0 \pm 2,0$ lynx indépendants. Dans l'aire de référence, la densité des lynx était de $1,02 \pm 0,29$ lynx indépendants pour 100 km^2 . La densité dans l'aire effectivement échantillonnée était de $0,43 \pm 0,13$ lynx indépendants pour 100 km^2 ou $0,61 \pm 0,19$ lynx indépendants pour 100 km^2 d'habitat favorable. Au niveau de l'aire de référence, l'estimation de la densité était similaire à la valeur estimée dans le Nord du Jura suisse au printemps 2007. Cette valeur est aussi semblable aux valeurs de $0,84$ - $0,99$ lynx indépendants pour 100 km^2 calculées pour le Sud du Jura suisse lors d'études télémétriques. Par contre, les valeurs de la densité pour l'aire effectivement échantillonnée et l'habitat favorable étaient plus faibles que les estimations dans le Nord du Jura.

Zusammenfassung - Das Fotofallen-Monitoring des Europäischen Luchses (*Lynx lynx*) im zentralen, Schweizer Jura wurde während 60 Nächten vom 10. Februar bis 10. April 2008 durchgeführt. Es wurden an siebenundfünfzig Standorten Stichproben anhand von jeweils zwei zueinander ausgerichteten Fotofallen erhoben, um beide Flanken der Luchse für die individuelle Bestimmung zu erhalten. In der zweimonatigen Periode wurde eine Mindestanzahl von sechs selbständigen Luchsen nachgewiesen. Die Fang-Wiederfang Schätzung der Abundanz mit M_h ergab $7,0 \pm 2,0$ selbständige Luchse. Im Referenzgebiet der Studie wurde eine Dichte von $1,02 \pm 0,29$ selbständigen Luchsen pro 100 km^2 festgestellt. Die Dichte im effektiven Untersuchungsgebiet war $0,43 \pm 0,13$ selbständige Luche pro 100 km^2 oder $0,61 \pm 0,19$ selbständige Luchse pro 100 km^2 geeignetem Habitat. Im Referenzgebiet war die Dichteschätzung ähnlich wie im nördlichen Bereich des Schweizer Jura im Frühling 2007. Ebenfalls ähnlich war die Schätzung bezüglich zum Intervall von $0,84$ - $0,99$ selbständige Luchse pro 100 km^2 , welches durch Telemetrie in den 90iger Jahren im südlichen Teil des Schweizer Jura bestimmt wurde. Schätzungen für das effektiv untersuchte Gebiet und das geeignete Habitat waren tiefer als im nördlichen Jura.

Abstract - Photo-trapping of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) was carried out during 60 nights, from the 10th February to the 10th April 2008 in the central part of the Swiss Jura Mountains. Fifty-seven sites were sampled using pairs of camera traps, in order to picture both flanks of the lynx to ensure individual identification. A minimum number of six independent lynx was pictured during the two months sampling. The capture-recapture estimate of abundance under M_h was 7.0 ± 2.0 independent lynx. In the reference study area, the lynx density was 1.02 ± 0.29 independent lynx per 100 km^2 . Density in the effective sampling area was 0.43 ± 0.13 independent lynx per 100 km^2 or 0.61 ± 0.19 independent lynx per 100 km^2 of suitable habitat. In the reference area, the density estimate is similar to the value estimated in the Northern part of the Swiss Jura Mountains in spring 2007. This value is also similar to the range of 0.84 - 0.99 independent lynx per 100 km^2 assessed in the southern part of the Swiss Jura in the nineties using telemetry. Estimates for the effectively sampled area and the suitable habitat were lower than in the Northern Jura.

1 Introduction

Les lynx (*Lynx lynx*) sont difficiles à dénombrer, car ce sont des animaux discrets et cryptiques, avec de grands domaines vitaux (Breitenmoser *et al.* 1993, Breitenmoser-Würsten *et al.* 2007) et qui vivent à basse densité. En 2007, une première estimation de l'abondance et de la densité du lynx dans le Nord du Jura (Zimmermann *et al.* 2007a) par la méthode capture-recapture photographique appliquée depuis 1998 dans les Alpes (Laass 1999, Zimmermann *et al.* 2007b) a montré la faisabilité de cette méthode dans le Jura. L'augmentation des observations occasionnelles de lynx ces dernières années dans la partie centrale du Jura suisse (Zimmermann *et al.* 2007c) a motivé la présente étude, dont le but était d'estimer les effectifs et la densité du lynx dans le Jura neuchâtelois et bernois en utilisant cette même méthode.

2 Aire d'étude

La zone d'étude et « aire de référence » a préalablement été présentée et discutée dans le cadre de la CIC-I Jura¹. Elle est délimitée par les lacs de Neuchâtel et de Bienna au sud-est, la frontière franco-suisse au nord-ouest, le Taubenloch au nord-est et la Montagne de Boudry au sud-ouest (Fig. 1). L'aire de référence a été choisie en se basant sur des limites de l'habitat (p.ex. vallées, grandes routes) de manière à être (i) de dimension comparable aux zones d'étude alpines et du Nord du Jura (p. ex. Zimmermann *et al.* 2007a, b) et (ii) représentative de la population de lynx du centre du Jura suisse.

A la demande du Service de la faune du canton de Neuchâtel, 8 sites ont été ajoutés pour cette session hors de l'aire de référence.

¹ La CIC-I du compartiment de gestion des grands carnivores du Jura est composé de représentants de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) et des cantons de Vaud, Neuchâtel, Jura, Berne, Soleure, Bâle Campagne et Argovie.



Fig. 1. Zone d'étude. L'aire de référence est définie par le polygone bleu. Les quadrats bleus marquent la grille d'échantillonnage dans l'aire de référence. Les cadrats rouges marquent l'extension de la zone d'échantillonnage hors de l'aire de référence, ajoutés à la demande du Service de la faune du Canton de Neuchâtel. Les localisations des pièges photographiques sont marquées en blancs.

3 Matériel et méthode

La méthode de piégeage photographique appliquée était la même que celle utilisée pour l'estimation de l'abondance et de la densité du lynx dans les Alpes suisses depuis 1998 (Zimmermann *et al.* 2007b), et dans le Nord du Jura en 2007 (Zimmermann *et al.* 2007a). La méthode est détaillée en annexe.

Cinquante-sept sites ont été échantillonnés durant 60 nuits – de la nuit du 10-11 février à celle du 9-10 avril 2008 – à l'aide de pièges photographiques, pour un effort potentiel de 3420 nuits-pièges. Deux appareils photographiques ont été placés vis-à-vis, de chaque côté d'un chemin ou d'une route forestière, de manière à photographier les deux flancs d'un lynx pour une identification certaine (Zimmermann *et al.* 2007a, b).

Les lynx sont identifiés individuellement d'après les marques uniques de leur pelage. Cette caractéristique permet de construire l'histoire de capture pour chaque individu photographié et d'analyser les données selon une méthode de capture-recapture, de manière à estimer l'abondance des lynx en tenant compte de leur probabilité de capture (Zimmermann *et al.* 2007a, b).

La densité des lynx indépendants a été calculée en divisant l'estimation de l'abondance par l'aire échantillonnée (\hat{A}). Dans notre cas nous avons considéré trois aires d'échantillonnage : (i) la zone de référence (ii) le polygone convexe formé par les sites d'échantillonnage les plus externes, plus une zone tampon de largeur (W), suivant Karanth et Nichols (1998) et (iii) la superficie de l'habitat favorable définie à l'aide d'un modèle d'habitat (Zimmermann & Breitenmoser 2007), au sein de la zone formée par le polygone plus tampon.

4 Résultats et discussion

Malgré des affichettes placées sur chaque site d'échantillonnage informant des buts de l'étude, du matériel a été volé sur deux sites lors de cette étude (#13 NE et #35 BE). En plus de ces actes de sabotage, des raisons techniques et des erreurs de programmation ont ramené l'effort d'échantillonnage à 3059 nuits-pièges effectives, soit 89,4 % du potentiel.

4.1 Nombre minimum de lynx

Sur l'ensemble de la zone d'étude, six lynx indépendants et deux juvéniles ont été photographiés

Tab. 1. Lynx détectés sur des passages et sur des proies dans l'aire de référence et l'extension de la zone d'étude neuchâteloise pendant les deux mois d'échantillonnage, nombre de détections et présence dans les différents cantons.

Lynx	Nombre de détections sur passages	Nombre de détections sur une proie	Connu depuis/canton
Détectés dans l'aire de référence			
B137	2 (BE)		
B138 (+ 2 juv) ^{a)}	4 (BE)		
B136	4 (NE/BE)		2007/BE ^{b)}
B124	1 (NE)		2006/NE ^{c)}
R86	1 (NE)		2006/VD ^{d)}
B135		1 (NE)	
Détecté dans l'extension NE			
L93	1 (NE)	1 (NE)	

(a) les juvéniles ne sont pas pris en compte dans les estimations d'effectifs et de densité (Zimmermann *et al.* 2007a, b), à cause de leur forte mortalité durant les 2 premières années de leur vie ; (b) B136 était alors connu sous le nom de R88, car seul son flanc droit avait été photographié jusque-là. Il a été détecté lors de la session de piégeage photographique dans le nord du Jura en 2007 à l'Envers de Montoz (BE), soit à une distance de 36 km à vol d'oiseau de son point le plus éloigné dans le Val de Ruz (NE) ; (c) B124 a été détecté en 2006 sur une proie dans la région de la Sagne et en 2007 à Rochefort ; (d) R86 a été détecté pour la première fois en automne 2006, lors d'une session de piégeage photographique semi-intensive dans le Jura vaudois (Fattebert & Zimmermann 2007), à une distance de 24 km à vol d'oiseau.

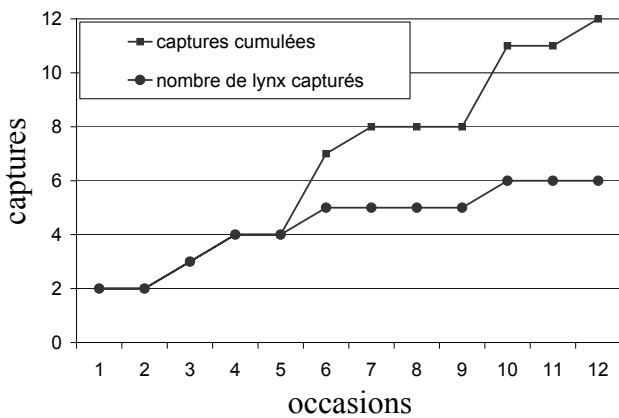


Fig. 2. Nombre de détections de lynx cumulées et nombre total d'individus différents détectés au cours des 12 occasions de capture.

sur des passages au cours des deux mois d'échantillonnage (Tab. 1), pour un total de treize détections. Le nombre de détections a été ramené à douze par le groupement des données par pentades (Fig. 2). Les données des lynx indépendants détectés sur passages dans l'aire de référence (n=5) ont été utilisées pour l'estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture (Zimmermann *et al.* 2007a, b). De plus, un individu (L93) a été détecté hors de la zone de référence sur un passage au Creux-du-Van (NE) et sur une proie au-dessus de Fleurier (NE). Un individu supplémentaire (B135) a été photographié sur une proie dans le Val de Ruz (Fig. 3). La présence de B135 dans l'aire de référence est prise en compte par l'estimation et l'erreur statistique.

4.2 Estimation de l'abondance

Sous le modèle M_{th} , qui permet des probabilités de

capture individuelles hétérogènes, l'estimation de l'abondance par capture-recapture était de $7,0 \pm 2,0$ lynx indépendants dans l'aire de référence de 685 km² (Tab. 2).

4.3 Estimation de la densité

Dans l'aire de référence, la densité était de $1,02 \pm 0,29$ lynx indépendants pour 100 km². En prenant en compte les mouvements des lynx photographiés à plus d'un site pour estimer l'aire effectivement échantillonnée (polygone plus zone tampon: 1647 km²), la densité était de $0,43 \pm 0,13$ lynx indépendants pour 100 km². La densité dans l'habitat favorable (1147 km²) définit par un modèle d'habitat (Zimmermann & Breitenmoser 2007) était de $0,61 \pm 0,19$ lynx indépendants pour 100 km² d'habitat favorable (Tab. 2, Fig. 4).

Au niveau de l'aire de référence, l'estimation de la densité est similaire à la valeur estimée par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse au printemps 2007 (Tab. 2), et semblable aux valeurs de 0,84-0,99 lynx indépendants pour 100 km² calculées pour le Sud du Jura suisse lors d'études télémétriques dans les années nonante (Breitenmoser *et al.* 1993, Breitenmoser-Würsten *et al.* 2007). Par contre, les valeurs de la densité pour l'aire effectivement échantillonnée et l'habitat favorable sont plus faibles que les estimations dans le Nord du Jura. Une modélisation de l'habitat a montré que l'habitat est moins favorable au lynx dans la partie centrale du Jura suisse (Zimmermann & Breitenmoser 2002).

Tab. 2. Estimation de l'abondance et de la densité de lynx indépendants pour les zones d'études du Jura Centre et Nord, d'après M_{th} , dans l'aire de référence, le polygone plus la zone tampon et l'habitat favorable du lynx au sein du polygone plus la zone tampon. Les estimations sont basées sur l'analyse par capture-recapture des données du piégeage photographique sur passages.

Etude	Probabilité de capture	N_{min}	$N \pm SE(N)$	Estimation de la densité $D \pm SE(D)$ (lynx indépendants pour 100 km ²)		
				Aire de référence	Polygone + tampon	Habitat favorable
Jura Centre ^a	0,13	6	$7,0 \pm 2,0$	$1,02 \pm 0,29$	$0,43 \pm 0,13$	$0,61 \pm 0,19$
Jura Nord ^b	0,16	9	$10,0 \pm 3,4$	$1,13 \pm 0,39$	$0,80 \pm 0,28$	$1,13 \pm 0,41$

(a) cette étude, (b) Zimmermann *et al.* 2007.

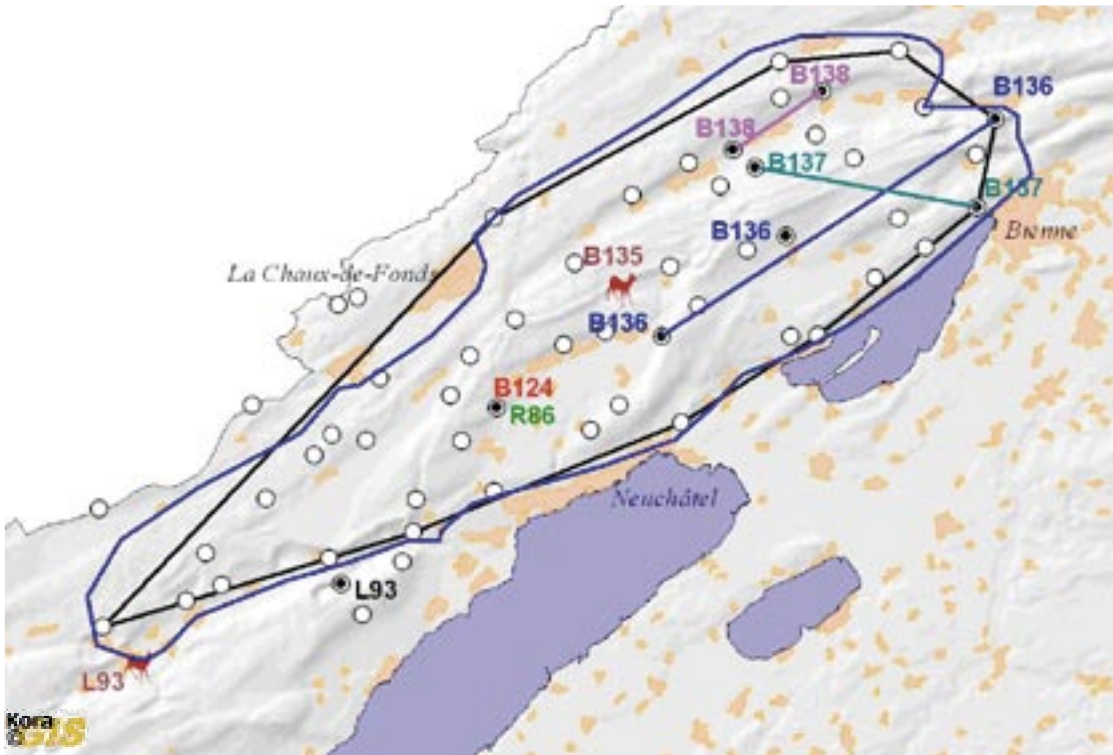


Fig. 3. Emplacements des pièges-photographiques avec les dénominations des lynx qui ont été photographiés lors de la session intensive. Aire de référence = ligne bleue ; polygone convexe = ligne noire. Les cercles représentent de sites avec (⊙) et sans (○) images de lynx. Les lignes en couleur correspondent aux distances maximales entre les sites de piégeage pour les individus photographiés sur au moins deux sites différents (distance max moyenne = 14 km). Les images prises sur des proies sont symbolisées par des chevreuils.

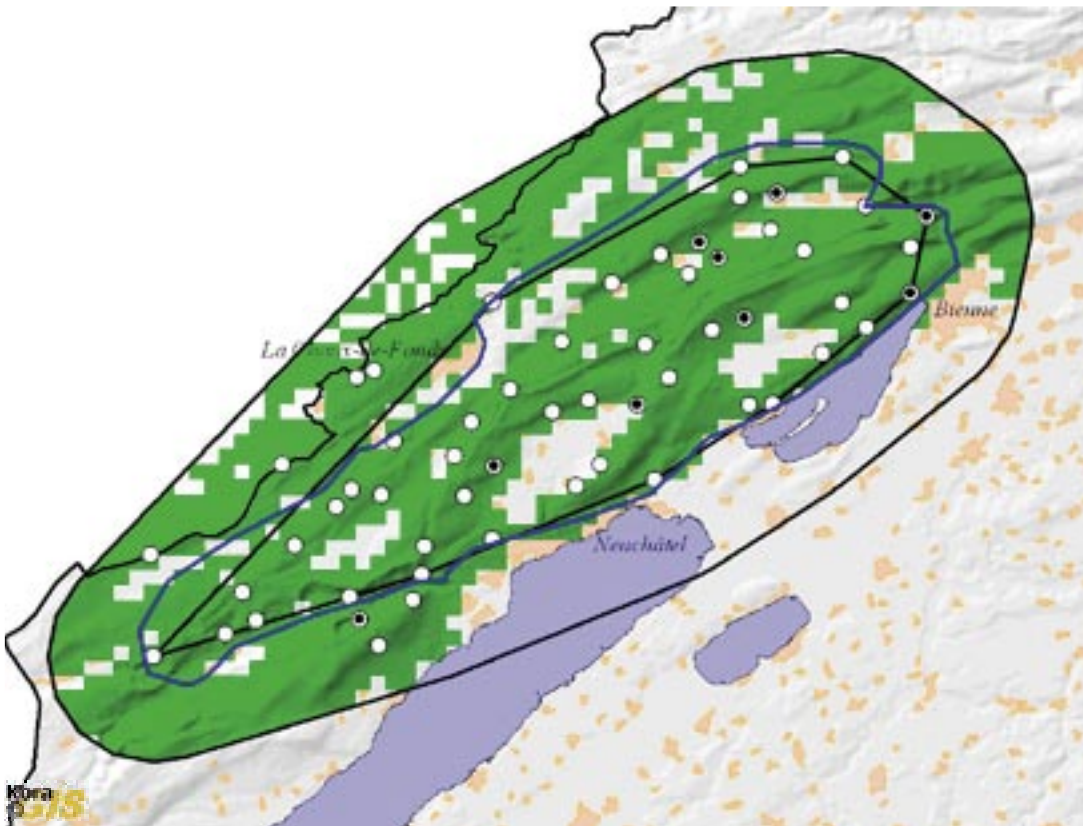


Fig. 4. Sites d'échantillonnage sans (○) et avec au moins une (⊙) détection de lynx, aire de piégeage (polygone interne), aire tampon de 7 km (polygone externe). La surface verte correspond à l'habitat favorable du lynx définie d'après un modèle d'habitat. La ligne bleue délimite l'aire de référence.

5 Références

- Breitenmoser, U., P. Kaczensky, M. Dötterer, Ch. Breitenmoser-Würsten, S. Capt, F. Bernhart, & M. Liberek. 1993. Spatial organisation and recruitment of Lynx (*Lynx lynx*) in a re-introduced population in the Swiss Jura Mountains. *Journal of Zoology* 231:449-464.
- Breitenmoser-Würsten, Ch., F. Zimmermann, Ph. Stahl, J.-M. Vandell, A. Molinari-Jobin, P. Molinari & U. Breitenmoser. 2007. Spatial and social stability of a Eurasian lynx *Lynx lynx* population: an assessment of 10 years of observation in the Jura Mountains. *Wildlife Biology* 13 (4): 365-380.
- Fattebert, J. & F. Zimmermann 2007. Piégeage photographique du lynx dans le Jura vaudois: rapport sur la session semi-intensive de l'automne 2006. KORA Bericht 36f, KORA, Bern.
- Karanth, K. U. & J. D. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures & recaptures. *Ecology* 79:2852-2862.
- Laass, J. 1999. Evaluation von Photofallen für ein quantitatives Monitoring einer Luchspopulation in den Schweizer Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- Zimmermann, F. & U. Breitenmoser. 2002. A distribution model for the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains, Switzerland. Pages 653-660 in J. M. Scott, P. J. Heglund, F. Samson, J. Haufler, M. Morrison, M. Raphael, and B. Wal, editors. *Predicting species occurrences: Issue of accuracy and scale*. Island Press, Covelo.
- Zimmermann, F. & U. Breitenmoser. 2007. Potential distribution and population size of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology* 13:406-416.
- Zimmermann, F., J. Fattebert, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007a. Abondance et densité du lynx: estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse KORA Bericht 37df, KORA, Bern.
- Zimmermann, F., A. Molinari-Jobin, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007b. Estimation of Lynx (*Lynx lynx*) Densities in the Swiss Alps Using Photographic Capture-Recapture Sampling. P. 58 in Hughes, J. & R. Mercer (compilers). 2007. *Programme and Abstracts, Felid Biology and Conservation Conference, 17-20 September 2007, Oxford, UK*.
- Zimmermann, F., J.-M. Weber, A. Molinari-Jobin, A. Ryser, J. Fattebert, Ch. Breitenmoser-Würsten, S. Capt & U. Breitenmoser. 2007c. *Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2006*. KORA Bericht 40, KORA, Bern.

6 Annexe : méthodes détaillées

6.1 Piégeage photographique

Pour éviter des agrégats de sites d'échantillonnage et pour permettre des comparaisons avec des études antérieures, une grille de cellules d'échantillonnage de 2,7 x 2,7 km chacune a été superposée à la zone d'étude, d'après Laass (1999). Chaque deuxième cellule a été échantillonnée à l'aide d'un piège photographique « master » et d'un « slave »² placés face à face, de manière à photographier les deux flancs des lynx pour permettre leur identification individuelle de manière certaine (Zimmermann *et al.* 2007 a, b). Le lynx utilise fréquemment les passages dégagés tels que des routes forestières lors de ses longs déplacements. Les sites sélectionnés étaient situés le long (*i*) de routes forestières, (*ii*) de chemins pédestres et (*iii*), dans une moindre mesure, le long de sentes de gibier. Le matériel était contrôlé tous les 6 à 7 jours afin de remplacer les piles, changer les films si nécessaire et remplacer le matériel en cas de panne ou de déprédation.

6.2 Nombre minimum d'individus indépendants

Le nombre d'individus indépendants³ différents représente l'effectif minimum de la population. Pour identifier individuellement les lynx photographiés, chaque image a été comparée à un ensemble d'images de référence d'individus déjà connus par le piégeage photographique ou les captures pour des études télémétriques. Puisque que les taches des deux flancs diffèrent chez un même individu, il est

² Le piège photographique « master » possède un détecteur infrarouge et réagit au passage d'un animal ou de courants thermiques. Le « slave », de conception plus simple, est déclenché par le flash du premier.

³ Il est impossible de distinguer de manière certaine les adultes des subadultes sur la base de photographies, et ceux-ci sont regroupés sous l'appellation de *lynx indépendants*, par opposition aux juvéniles, encore dépendants de leur mère.

indispensable de pouvoir associer sans ambiguïté ses flancs gauche et droit pour une identification certaine (Zimmermann *et al.* 2007a, b), d'où l'utilisation des « slaves ».

6.3 Estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture

Lorsque les individus peuvent être reconnus, soit par des marques distinctives naturelles, soit par des marques artificielles, on peut échantillonner la population dans le cadre conceptuel des méthodes de capture-recapture, afin d'estimer les probabilités de captures et les effectifs avec les erreurs statistiques (écarts types) associées (Jennelle *et al.* 2002, Karanth 1995). Historiquement, le concept de capture-recapture fut appliqué pour la première fois en 1662 pour estimer la population de Londres. C'est seulement 150 ans plus tard que Laplace rédigea la formule de base : partant du principe que tous les individus ont la même probabilité de capture, la proportion d'individus marqués dans l'échantillon de recapture est identique à celle des individus marqués dans l'ensemble de la population. Puisque ces proportions, ainsi que le nombre d'individus marqués sont connus, on peut en déduire la taille de l'ensemble de la population. Les nouveaux algorithmes sont basés sur ce principe de base, mais tiennent compte du fait que la probabilité de capture puisse varier individuellement ou temporellement.

Si le but n'est pas de détecter tous les individus présents mais d'échantillonner la population, il est néanmoins important qu'aucun individu de l'espèce ciblée n'ait une probabilité de capture nulle dans la zone échantillonnée. Cette assumption détermine la densité minimale de sites d'échantillonnage, qui devrait être d'au moins un site par plus petit domaine vital connu pour l'espèce ciblée (Karanth & Nichols 1998, 2002).

Afin de pouvoir utiliser des estimateurs pour

population fermée (p. ex. Otis *et al.* 1978), une assumption importante de la méthode est que la population soit, durant la période d'échantillonnage, libre de recrutement (naissance ou immigration) et de déplétion (décès ou émigration). Le piégeage photographique des lynx a été mené en hiver pendant 60 nuits (2 mois), une période dépourvue de naissances et assez courte pour remplir cette condition dans le cas d'une espèce comme le lynx.

6.4 Estimation de l'abondance

Une période de cinq nuits consécutives (pentade) a été définie comme une occasion de capture (Zimmermann *et al.* 2006). Pour chaque occasion de capture, chaque individu a été défini comme capturé (« 1 ») au moins une fois ou non capturé (« 0 »), formant un vecteur consistant en autant de « 1 » et de « 0 » qu'il y a d'occasion de capture. L'ensemble des vecteurs individuels forme une matrice- X , le calendrier de capture (Otis *et al.* 1978). Le calendrier de capture des lynx indépendants a été analysé à l'aide du module CAPTURE pour des populations fermées, intégré au programme MARK (White & Burnham 1999). Pour vérifier si la population était fermée, nous avons utilisé le programme CLOSETEST (Stanley & Richards 2004).

Le programme MARK sélectionne le modèle qui s'ajuste le mieux au jeu de données parmi 8 modèles possibles lorsque la population est fermée. Entre autres M_0 : la probabilité de capture est la même pour tous les individus, n'est pas influencée par une modification du comportement et ne varie pas au cours du temps. M_h : la probabilité de capture varie d'un individu à l'autre mais pas au cours du temps.

6.5 Estimation de la densité

La densité des lynx indépendants a été calculée en divisant l'estimation de l'abondance par l'aire échantillonnée (\hat{A}). Dans notre cas nous avons

considéré trois aires d'échantillonnage : (i) la zone de référence, (ii) le polygone convexe formé par les sites d'échantillonnage les plus externes, plus une zone tampon de largeur (W), suivant Karanth et Nichols (1998) et (iii) la superficie de l'habitat favorable.

Les limites de la zone de référence ont été choisies de façon à ce qu'elles correspondent aux mieux aux limites probables des domaines vitaux de lynx selon nos connaissances de la structure spatiale du lynx. Les lynx établissent les limites de leur territoire souvent le long de barrières naturelles et artificielles tels des fonds de vallées densément peuplées ou le long de structures marquantes du relief.

La largeur de la zone tampon est égale à la moitié de la moyenne des distances maximales entre les sites de piégeage pour les individus photographiés sur au moins deux sites différents (Karanth & Nichols 1998). Cette zone tampon représente une estimation de l'extension probable des domaines vitaux des lynx au-delà de la zone échantillonnée.

En Suisse, les zones densément habitées, les zones cultivées, les lacs et cours d'eau, et les hautes chaînes montagneuses délimitent l'habitat favorable du lynx (Zimmermann 2004; Zimmermann & Breitenmoser 2002). Afin de pouvoir comparer les densités absolues entre les différentes aires de référence, nous avons soustrait la superficie de l'habitat défavorable, défini selon un modèle d'habitat d'après Zimmermann & Breitenmoser (2007), du polygone convexe, plus une zone tampon.

6.6 Références

- Jennelle, C. S., M. R. Runge & D. I. MacKenzie 2002. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. *Animal Conservation* 5:199-120.
- Karanth, K. U. 1995. Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera-trap data using capture-recapture models. *Biological Conservation* 71:333-338.
- Karanth, K. U. & J. D. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures & recaptures. *Ecology* 79:2852-2862.
- Karanth, K. U. & J. D. Nichols 2002. Monitoring tigers and their prey: a manual for researchers, managers and conservationists in tropical Asia. Centre for Wildlife Studies, Bangalore.
- Laass, J. 1999. Evaluation von Photofallen für ein quantitatives Monitoring einer Luchspopulation in den Schweizer Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- Otis, D. L., K. P. Burnham, G. C. White & D. R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs* 62:1-135.
- Stanley, T. R. & J. D. Richards. 2004. CloseTest version 3.0, a program for testing capture-recapture data for closure. US Geological Survey, Fort Collins Science Center, Colorado, USA
- White, G. C. & K. P. Burnham. 1999. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46:120-138.
- Zimmermann, F. 2004. Conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in a fragmented landscape — habitat models, dispersal and potential distribution. Pp. 180. Université de Lausanne, Lausanne.
- Zimmermann, F. & U. Breitenmoser. 2002. A distribution model for the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains, Switzerland. Pages 653-660 in J. M. Scott, P. J. Heglund, F. Samson, J. Haufler, M. Morrison, M. Raphael, and B. Wal, editors. Predicting species occurrences: Issue of accuracy and scale. Island Press, Covelo.
- Zimmermann, F. & U. Breitenmoser. 2007. Potential distribution and population size of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology* 13:406-416.
- Zimmermann, F., J.-M. Weber, A. Molinari-Jobin, A. Ryser, K. von wattenwyl, A. Siegenthaler, P. Molinari, C. Angst, C. Breitenmoser-Würsten, S. Capt & U. Breitenmoser. 2006. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2005. KORA-Bericht 35, KORA, Bern.
- Zimmermann, F., J. Fattebert, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007a. Abondance et densité du lynx: estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse KORA Bericht 37df, KORA, Bern.
- Zimmermann, F., A. Molinari-Jobin, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007b. Estimation of Lynx (*Lynx lynx*) Densities in the Swiss Alps Using Photographic Capture-Recapture Sampling. P. 58 in Hughes, J. & R. Mercer (compilers). 2007. Programme and Abstracts, Felid Biology and Conservation Conference, 17-20 September 2007, Oxford, UK.

Bisher erschienene KORA Berichte / Rapports KORA parus / Published KORA reports

- KORA Bericht Nr. 42f Zimmermann, F., Fattebert, J., Caviezel, S., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2008. Abondance et densité du lynx dans le Nord-Ouest des Alpes: estimation par capture-recapture photographique dans le C-VI durant l'hiver 2007/08.
- KORA Bericht Nr. 42d Zimmermann, F., Fattebert, J., Caviezel, S., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2008. Abundanz und Dichte des Luchses in den Nordwestalpen: Fang-Wiederfang-Schätzung mittels Fotofallen im K-VI im Winter 2007/08.
- KORA Bericht Nr. 41e Weber, J.-M. & Fattebert, J. (eds). 2008. Wolf monitoring in the Alps: 5th Alpine Wolf Workshop, La Fouly (VS), Switzerland, 2-3 October 2007.
- KORA Bericht Nr. 40 Zimmermann, F., Weber, J.-M., Molinari-Jobin, A., Ryser, A., Fattebert J., Breitenmoser-Würsten, Ch., Capt S. & Breitenmoser, U. 2007. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2006.
- KORA Bericht Nr. 39 Zimmermann, F., Ryser-Degiorgis, M.-P., Ryser, A., Weber, J.-M., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2007. Schlussbericht Umsiedlung von zwei Luchsen aus den Waadtländer Alpen in den Waadtländer Jura 2006/07.
- KORA Bericht Nr. 38 Molinari-Jobin, A. & Breitenmoser, U. 2007. Systematisches Fotofallen-Monitoring im Kompartiment III und VI-Ost (Kt. BE, OW, NW, UR) im Winter 2006/07.
- KORA Bericht Nr. 37d Zimmermann, F., Fattebert, J., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2007. Abundanz und Dichte der Luchse: Fang-Wiederfang-Schätzung mittels Fotofallen im nördlichen Schweizer Jura.
- KORA Bericht Nr. 37f Zimmermann, F., Fattebert, J., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2007. Abondance et densité du lynx : estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse.
- KORA Bericht Nr. 36 Fattebert, J. & Zimmermann, F. 2007. Piégeage-photographique du lynx dans le Jura vaudois: rapport sur la session semi-intensive de l'automne 2006.
- KORA Bericht Nr. 35 Zimmermann, F., Weber, J.-M., Molinari-Jobin, A., Ryser, A., von Wattenwyl, K., Siegenthaler, A., Molinari, P., Angst, Ch., Breitenmoser-Würsten, Ch., Capt S. & Breitenmoser, U. 2006. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2005.
- KORA Bericht Nr. 34 Ryser, A., von Wattenwyl, K., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. 2006. 2. Monitoringbericht LUNO2. Status Luchs Nordostschweiz Winter 2005/2006.
- KORA Bericht Nr. 33e Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch., von Arx, M., Zimmermann, F., Ryser, A., Angst, Ch., Molinari-Jobin, A., Molinari, P., Linnell, J., Siegenthaler, A. & Weber, J.-M. 2006. Guidelines for the Monitoring of Lynx. Workshop on the Conservation and the Monitoring of the Balkan lynx.
- KORA Bericht Nr. 32 Angst, Ch. & J.-M. Weber. 2005. Evaluation de la faisabilité d'une réintroduction de la perdrix grise en Ajoie (JU).
- KORA Bericht Nr. 31 Ryser, A., von Wattenwyl, K., Willisch, Ch., Leathwood, I., Zimmermann, F., Breitenmoser, U. 2005. 1. Monitoringbericht LUNO2 – Statusbericht Luchs Nordostschweiz Winter 2004/2005.
- KORA Bericht Nr. 30 Boutros, D., 2005. Luchs & Co. eine Lernwerkstatt.
- KORA Bericht Nr. 29 f, d Zimmermann, F., Molinari-Jobin, A., Weber J.-M., Capt, S., Ryser, A., Angst, Ch., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2005. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2004.
- KORA Bericht Nr. 28 Zajec, P., Zimmermann, F., Roth, H.U. & Breitenmoser, U. 2005. Die Rückkehr des Bären in die Schweiz – Potentielle Verbreitung, Einwanderungsrouten und mögliche Konflikte.
- KORA Bericht Nr. 28 e Zajec, P., Zimmermann, F., Roth, H.U. & Breitenmoser, U. 2005. The return of the Brown bear to Switzerland – Suitable habitat distribution, corridors and potential conflicts.
- KORA Bericht Nr. 27 f Weber, J.-M., 2004. Monitoring Loup 1999-2003.
- KORA Bericht Nr. 26 Zimmermann, F., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Ryser, A., Angst, Ch., von Wattenwyl, K., Burri, A., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2004. Monitoring Luchs Schweiz 2003.
- KORA Bericht Nr. 25 f, d Burri, A., Kläy E.-M., Landry, J.-M., Maddalena, T., Oggier, P., Solari, C., Torriani, D., Weber, J.-M. 2004: Rapport final Projet Loup Suisse – Prévention 1999-2003.
- KORA Bericht Nr. 24 d Capt, S., Lüps, P., Nigg, H. & Fivaz, F. 2005: Relikt oder geordneter Rückzug ins Réduit – Fakten zur Ausrottungsgeschichte des Braunbären Ursus arctos in der Schweiz.
- KORA Bericht Nr. 24 f Capt, S., Lüps, P., Nigg, H. & Fivaz, F. 2005: Reliquat ou retrait coordonné dans le réduit suisse - Récit historique de l'éradication de l'ours brun Ursus arctos en Suisse (en préparation).

Bisher erschienene KORA Berichte / Rapports KORA parus / Published KORA reports

- KORA Bericht Nr. 23 Ryser, A. et al. in Vorbereitung: Der Luchs und seine Beutetiere in den schweizerischen Nordwestalpen 1997-2000.
- KORA Bericht Nr. 22 Ryser, A., von Wattenwyl, K., Ryser-Degiorgis, M.-P., Willisch, Ch., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. 2004: Luchsumsiedlung Nordostschweiz 2001-2003, Schlussbericht Modul Luchs des Projektes LUNO.
- KORA Bericht Nr. 21 f Doutaz, J. & Koenig A. 2004: Le retour du Loup (*Canis lupus L.*) en Suisse: Analyse des données disponibles en vue de la réalisation d'un modèle de distribution potentielle.
- KORA Bericht Nr. 20 Boutros, D. & Baumgartner, H.-J. 2004: Erfahrungen der Kontaktgruppe Luchs Simmental und Saanenland: Auswertung einer Umfrage unter den Mitgliedern.
- KORA Bericht Nr. 19 e von Arx, M., Breitenmoser-Würsten, Ch., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. 2004. Status and conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in Europe in 2001.
- KORA Bericht Nr. 18 e Weber, J.-M. (ed.), 2003. Wolf monitoring in the Alps.
- KORA Bericht Nr. 17 f Waeber, P. 2003. Evaluation de l'estivage ovin en fonction du retour du loup.
- KORA Bericht Nr. 17 d Waeber, P. 2003. Evaluation der Schafsömmernung im Hinblick auf die Rückkehr des Wolfes.
- KORA Bericht Nr. 16 f Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2003. Monitoring Lynx Suisse 2002.
- KORA Bericht Nr. 16 Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2003. Monitoring Luchs Schweiz 2002.
- KORA Bericht Nr. 15 f Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2002. Monitoring Lynx Suisse 2001
- KORA Bericht Nr. 15 Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2002. Monitoring Luchs Schweiz 2001.
- KORA Bericht Nr. 14 Laass, J. 2002. Fotofallen-Monitoring im westlichen Berner Oberland 2001. Fotofallen-Extensiv-Einsatz 2001. Fotofallen-Intensiv-Einsatz Winter 2001/2002.
- KORA Bericht Nr. 13 e Thüler, K. 2002. Spatial and Temporal Distribution of Coat Patterns of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in two reintroduced Populations in Switzerland.
- KORA Bericht Nr. 12 e Boutros, D. 2002. Characterisation and Assessment of Suitability of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) Den Sites.
- KORA Bericht Nr. 11 f Breitenmoser, U., Capt, S., Breitenmoser-Würsten, Ch., Angst, Ch., Zimmermann, F., & Molinari-Jobin, A. 2002. Le Lynx dans le Jura – Aperçu de l'état actuel des connaissances.
- KORA Bericht Nr. 11 d Breitenmoser, U., Capt, S., Breitenmoser-Würsten, Ch., Angst, Ch., Zimmermann, F. & Molinari-Jobin, A. 2002. Der Luchs im Jura – Eine Übersicht zum aktuellen Kenntnisstand.
- KORA Bericht Nr. 10 d Angst, Ch., Haagen, S. & Breitenmoser, U. 2002. Übergriffe von Luchsen auf Kleinvieh und Gehegetiere in der Schweiz. Teil II: Massnahmen zum Schutz von Nutztieren.
- KORA Bericht Nr. 9 Breitenmoser-Würsten, Ch., Zimmermann, F., Ryser, A., Capt, S., Lass, J. & Breitenmoser, U. 2001. Untersuchungen zur Luchspopulation in den Nordwestalpen der Schweiz 1997-2000.
- KORA Bericht Nr. 8 Ryser-Degiorgis M.-P. 2001. Todesursachen und Krankheiten beim Luchs – eine Übersicht.
- KORA Bericht Nr. 7 e Breitenmoser-Würsten, Ch., Breitenmoser, U. (Eds), 2001. The Balkan Lynx Population – History, Recent Knowledge on its Status and Conservation Needs.
- KORA Bericht Nr. 6 Laass, J. 2001. Zustand der Luchspopulation im westlichen Berner Oberland im Winter 2000. Fotofallen-Einsatz Nov./Dez. 2000.
- KORA Bericht Nr. 5 d Angst, Ch., Olsson, P. & Breitenmoser, U. 2000. Übergriffe von Luchsen auf Kleinvieh und Gehegetiere in der Schweiz. Teil I: Entwicklung und Verteilung der Schäden.
- KORA Bericht Nr. 4 Zimmermann, F. 1998. Dispersion et survie des Lynx (*Lynx lynx*) subadultes d'une population réintroduite dans la chaîne du Jura.
- KORA Bericht Nr. 3 Workshop on Human Dimension in Large Carnivore Conservation. Contributions to the Workshop 26.11.97 at Landshut, Switzerland, with Prof. Dr. Alistair J. Bath. 1998.
- KORA Bericht Nr. 2 e Landry, J.M. 1999. The use of guard dogs in the Swiss Alps: A first analysis.
- KORA Bericht Nr. 2 d Landry, J.-M. 1999. Der Einsatz von Herdenschutzhunden in den Schweizer Alpen: erste Erfahrungen.
- KORA Bericht Nr. 2 Landry, J.-M. 1998. L'utilisation du chien de protection dans les Alpes suisses: une première analyse.
- KORA Bericht Nr. 1 Landry, J.-M. 1997. La bête du Val Ferret.