



BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE
SOCIETA SVIZZERA DI PEDOLOGIA

Cartographie des sols suisses

DÉVELOPPEMENT et PERSPECTIVES

Groupe de travail Cartographie des sols de la SSP

Septembre 2014

Auteurs : Franz Borer, Marianne Knecht

Contributeurs :

Stephane Burgos (Chap. 2.2 et fiche d'information 2, en partie)

Michael Margreth (Chap. 5.5.1)

Andreas Papritz (Chap. 3.4, 3.5 et fiche d'information 5)

Kirsten Rehbein (Chap. 2.5 et fiche d'information 4)

Extraits de cartes mis à disposition, ou saisis sur les navigateurs GIS des services de la protection des sols des cantons de GL, LU, SG, SO, ZG et ZH, ouverts au public

Avant-propos

Les sols jouent un rôle clé dans l'équilibre naturel. Ils remplissent de nombreuses fonctions écologiques et économiques. Ils servent de réservoir d'eau et de carbone, de filtre et de dépôt de nutriments ainsi que d'habitat pour les animaux, les plantes et l'homme. Mais ils sont également le site de zones urbanisées et d'infrastructures, ce qui conduit à d'énormes conflits d'affectation. Il est d'autant plus important que nous connaissons, aujourd'hui et à l'avenir, les sols variés de Suisse, puisque nous ne sommes en état d'apprécier et de protéger que ce que nous comprenons.

En Suisse, la classification et la description des sols a une longue tradition. Son apogée provisoire a eu lieu à la fin des années 1980, en rapport avec l'introduction de la législation environnementale. Ces deux activités étroitement liées constituent le fondement de l'évaluation de la valeur des sols tant agricoles que forestiers. Malgré les nombreux travaux effectués dans le passé, il reste encore beaucoup à faire, notamment parce qu'un bureau national institutionnalisé fait défaut depuis l'abandon, en 1996, du service de cartographie des sols à la Station fédérale de recherches en production végétale (RAC). La Société suisse de pédologie (BGS/SSP) a eu la sagesse de fonder un groupe de travail qui se consacre à la cartographie des sols, dans le but de recueillir et de poursuivre l'héritage du service de cartographie. La poursuite à long terme de ce travail bénévole et la publication du présent aperçu sont les grands mérites de tous les collaborateurs et collaboratrices de ce groupe de travail. Un grand merci à tous ceux qui ont contribué à ce succès !

Le présent document illustre de manière détaillée l'essor de la cartographie des sols en Suisse et souligne la nécessité de poursuivre le développement de la cartographie standard des sols en incluant les nouvelles méthodes à disposition (SIG, remote sensing, modélisation, etc.) et les systèmes correspondants de saisie et de sauvegarde des données dans le système national d'information pédologique NABODAT. Une attention particulière sera accordée à l'importance de la qualité de la description des informations pédologiques, tant au niveau ponctuel que des informations de surface qui en découlent, dans le but de répondre aux besoins des différents acteurs issus de l'agriculture, de la sylviculture, de la protection de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Des informations pédologiques fondées et à haute résolution sont de rigueur pour la prise de décisions, particulièrement en vue de nouveaux défis dans le contexte du changement climatique, de la protection contre les crues, de l'aménagement du territoire et de la sécurité alimentaire.

C'est dans cet esprit que nous vous souhaitons une lecture stimulante !

Septembre 2014

Stéphane Burgos
Président de la SSP

Reto Meuli
Ancien président de la SSP

Table des matières

Table des matières.....	1
Liste des illustrations et tableaux.....	3
Résumé.....	5
1 Introduction.....	7
1.1 Objectif.....	7
1.2 Quelques termes importants.....	8
1.3 Destinataires.....	9
2 Historique du développement de la cartographie des sols et de la disponibilité des données pédologiques.....	10
2.1 La cartographie FAL jusqu'en 1996.....	10
2.2 Cartographie en surface dans les cantons.....	11
2.3 Evaluation des besoins en cartes des sols et en informations pédologiques.....	13
2.4 Projet IS-CH Infosol Suisse.....	13
2.5 NABODAT.....	16
2.6 Etat de la saisie, du stockage et de la sauvegarde des données.....	18
2.7 Compétences et répartition des tâches.....	18
3 Méthodes de cartographie des sols.....	20
3.1 Remarques générales concernant la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain.....	20
3.2 Systèmes de classification et protocole de cartographie.....	20
3.3 Le protocole de cartographie FAL et son développement ultérieur.....	21
3.4 Cartographie numérique des sols (Digital Soil Mapping DSM).....	25
3.5 Erreurs de prédiction.....	26
3.6 Rôle du SIG.....	27
3.7 Garantie de qualité.....	28
3.7.1 Exigences générales de qualité envers la cartographie des sols.....	28
3.7.2 Réflexions liées à la qualité en rapport avec la collecte de données pédologiques de base.....	28
3.7.3 Mesures d'assurance qualité.....	29
3.7.4 Exigences de qualité envers la cartographie numérique des sols.....	31
4 Aspects particuliers et précisions concernant la cartographie des sols.....	32
4.1 L'importance de l'échelle et de la résolution dans le cadre de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain.....	32
4.2 Échelles standard pour différentes exigences.....	34
4.3 Contenu des données.....	35
4.3.1 Données de profils.....	35
4.3.2 Données surfaciques.....	35
4.3.3 Délimitation des polygones.....	36
4.3.4 Synthèse.....	36
4.4 Réflexions concernant l'utilisation des données de base.....	36
4.4.1 Informations issues de cartes géologiques.....	37
4.4.2 Intégration des informations phyto-sociologiques.....	39
4.5 Fonction de cartes des sols basées sur des relevés de terrains.....	40
4.6 Valeur du contenu des cartes des sols.....	41

5	Cartes des sols et leurs applications	42
5.1	Cartes des sols « classiques »	42
5.2	Cartes d'attributs des sols	42
5.3	Cartes fonctionnelles des sols.....	43
5.3.1	Cartes d'application.....	44
5.3.2	Cartes des risques	47
5.3.3	Cartes pédologiques d'utilisation (cartes des surfaces d'assolement, sda)....	48
5.4	Réflexions concernant l'utilisation de cartes fonctionnelles des sols.....	49
5.5	Carte des sols servant de données de base pour des problématiques apparentées	49
5.5.1	Prédiction de processus d'écoulement :	50
5.5.2	Projets d'irrigation et risques de glissements de terrain.....	52
5.5.3	Choix des espèces d'arbres sous le signe du changement climatique	52
6	Cartographie des sols en tant qu'investissement.....	54
6.1	Réflexions fondamentales	54
6.2	Coûts et rendement.....	54
7	Compétences et responsabilités.....	57
7.1	Continuité.....	57
7.2	Compétences techniques.....	57
7.3	Droits sur les données et les évaluations	58
8	Interventions requises et questions en suspens	59
8.1	Méthodes standardisées	59
8.2	Formation.....	59
8.3	Comparaison des coûts de différentes méthodes.....	60
9	Perspectives.....	61
9.1	Fondements	61
9.2	Développement	61
9.3	Orientations futures.....	62
10	Bibliographie générale.....	63
11	Fiches d'information (titres traduits).....	66
11.1	Faktenblatt 1: FAL-Kartierung;	67
11.2	Fiche d'information: cartographie d'après « FAL » ou « FAL+ »	67
11.3	Fiche d'information 2: projets de cartographie dans les cantons	70
11.4	Fiche d'information 3: IS-CH Infosol Suisse	77
11.5	Fiche d'information 4: NABODAT	81
11.6	Fiche d'information 5: DSM Digital Soil Mapping	85
11.7	Fiche d'information 6 : Principes de garantie de qualité.....	89
12	Termes.....	93
12.1	Cartographie en général.....	93
12.2	Cartographie des sols et cartes pédologiques.....	94
12.3	DSM Cartographie et cartes numériques des sols.....	94
12.4	Sources.....	96
12.5	96	

Liste des illustrations

III. 1 : Carte des sols du canton de Zurich sur Internet.....	12
III. 2 : Schéma illustrant la procédure de transcription des données sources et leur importation dans NABODAT	17
III. 3 : Carte du bilan hydrique à l'échelle 1:5'000.....	33
III. 4 : Carte du bilan hydrique à l'échelle 1:25'000 (agrandie au 1:5'000) [Carte des sols à l'échelle 1:25'000, feuille Lyss]	33
III. 5 : Echelles adéquates de cartes destinées à différentes applications et à la protection..	34
III. 6 : Extrait de carte de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000, feuille 113.....	38
III. 7 : Extrait d'une carte des types de sols au 1:5'000	38
III. 8 : Citation concernant la signification des valeurs indicatrices de plantes	39
III. 9 : Extrait d'une carte des sols classique au 1:5'000	42
III. 10 : Groupes de bilan hydrique des sols combinés avec l'attribut « profondeur physiologique »	43
III. 11 : Représentation de la valeur pH dans le sol de surface et du besoin en chaux correspondant	45
III. 12 : Capacité de sorption du sol pour le cadmium.....	46
III. 13 : Capacité au champ classée en intervalles de classe de 50 mm.....	47
III. 14 : Carte de sensibilité à la compaction pour les sols forestiers	47
III. 15 : Carte d'attributs 'Profondeur physiologique' servant de base pour la délimitation de surfaces d'assolement.....	48
III. 16 : Recueil de normes pour l'élaboration de cartes des processus d'écoulement.....	51
III. 17 : Une carte des processus d'écoulement élaborée automatiquement moyennant un modèle pronostique des sols (à gauche) en comparaison avec une carte élaborée sur la base de relevés de terrain (à droite) pour une région test aux environs de Hilferen, dans la partie supérieure du bassin versant de l'Ilfis (canton de Lucerne).	51

Liste des tableaux

Tabl. 1 : Qualités de la cartographie FAL+ [état de la technique en 2014].....	23
Tabl. 2 : Jeu de données standard décrivant les attributs d'un polygone	36

Résumé

Le sol remplit de nombreuses fonctions : élément important de l'écosystème, il est non seulement espace vital mais aussi fondement de la vie, tant pour l'homme que pour d'innombrables autres bénéficiaires. Cette base vitale est soumise à une grande pression, au sens littéral et figuré. L'occupation et l'utilisation des sols malmènent cet élément important de notre espace naturel.

Les mesures déjà établies pour la protection de certaines fonctions des sols naturels et la levée des boucliers contre de nouveaux dangers menaçant ce bien vital dépendent d'une base de données fiables.

En Suisse, la cartographie des sols est mise à exécution depuis de nombreuses décennies et les données qui en résultent sont mises à disposition pour différentes utilisations. Jusqu'à il y a 20 ans environ, l'agriculture et la sylviculture étaient les principaux utilisateurs de ces informations. Ces dernières années, la demande de cartes à moyenne et surtout à grande échelle ainsi que de leurs données d'attribut a fortement augmenté.

La méthode de cartographie suisse a été établie à la Station fédérale de recherches en production végétale (RAC) à Reckenholz dans les années 1950 et son développement a été poursuivi au cours de diverses étapes méthodologiques. Les instructions de cartographie pour les sols agricoles et forestiers couramment utilisées aujourd'hui sont celles publiées au milieu des années 1990.

Les nouvelles possibilités offertes par les bases de données digitales et d'autres progrès de l'informatique ont conduit, dès le milieu des années 1990 et dans le cadre de projets cantonaux de cartographie, à une méthode de cartographie plus évoluée, à savoir la cartographie des sols d'après « FAL+ ». Celle-ci se caractérise surtout par le fait que les informations concernant les propriétés des sols sont enregistrées dans un tableaux d'attributs standardisé, tout en préservant le système de classification suisse éprouvé et la méthode efficace du relevé sur le terrain par le pédologue.

Ainsi se présentent, sous forme de cartes très spécifiques et axées sur l'application, de nouvelles possibilités d'utilisation des données pédologiques, dont profitent non seulement les secteurs liés à la production agricole, mais aussi d'autres domaines spécialisés; qu'il s'agisse des diverses disciplines orientées sur la protection et ayant rapport à la construction hydraulique, de la protection des crues ou autres, ou des besoins liés à l'évaluation des sols et du bilan hydrique des plantes qui en dépendent dans le contexte des changements climatiques.

Suite à un sondage effectué en 2000 par le groupe de travail 'Cartographie des sols' de la SSP, le projet IS-CH (Infosol Suisse) a été lancé en collaboration étroite avec les services cantonaux de protection des sols et grâce au soutien financier de l'OFEV. Les bases conceptuelles et les solutions pratiques pour la

mise à jour des données pédologiques récoltées les années antérieures, y compris la réalisation des logiciels nécessaires, en sont le résultat. La base de données pédologiques NABODAT, réalisée par la suite par l'OFEV, permet aujourd'hui aux cantons de gérer et d'utiliser en toute sécurité les anciennes et les nouvelles informations pédologiques.

Une poursuite éventuelle du développement de la cartographie standard en place aujourd'hui ainsi que les différentes méthodes de modélisation actuellement en voie de développement font l'objet de discussions, dans le sens d'une analyse de l'orientation future de la cartographie des sols.

L'établissement, au niveau fédéral, d'un service de cartographie des sols compétent est revendiqué depuis longtemps, mais ne s'est toujours pas concrétisé. Dans l'idéal, ce service serait intégré dans un nouveau centre national de compétences pédologiques.

En complément, la Société suisse de pédologie, en tant qu'organe spécialisé, partage sa responsabilité avec les spécialistes engagés dans la cartographie des sols et les services cantonaux de pédologie: il convient d'assurer une gestion compétente de la mise à disposition des informations se rapportant aux propriétés naturelles des sols, sous forme de cartes pédologiques pour l'ensemble du territoire, indépendamment de la méthode utilisée.

Cartographie des sols en Suisse – Développement et perspectives

1 Introduction

Depuis plusieurs décennies, la recherche pédologique se concentre avant tout sur l'univers microscopique de cet espace vital unique en son genre. Cette approche permet d'élucider les « détails », mais en même temps, les énonciations concernant « l'ensemble » deviennent de plus en plus difficiles.

« Les détails » et
« l'ensemble »

La cartographie des sols offre une vue d'ensemble des sols. Indépendamment de la méthode choisie, la saisie et la description de cet élément de notre environnement si fascinant de par sa diversité est une tâche difficile. Un savoir pédologique important et une grande expérience méthodologique sont les prérequis pour une description précise des multiples facettes du sol.

La valeur de la
cartographie des
sols

Une partie des connaissances acquises et les expériences d'une génération humaine sont susceptibles de se perdre en quelques décennies seulement. Il s'ensuit que les générations suivantes doivent réacquérir péniblement ce savoir afin d'être en mesure d'en poursuivre le développement. Un tel processus n'est pas économique et il serait possible de le stopper ou tout au moins de le ralentir moyennant une « pérennisation habile du savoir acquis ».

Pérennisation du
savoir

La cartographie suisse des sols se trouve aujourd'hui à ce carrefour.

Il est réjouissant de constater que les manières de travailler, les méthodes à appliquer, les bases de travail et autres sont en cours d'analyse en vue de leur développement ultérieur et de leur amélioration. Cependant, le savoir déjà acquis n'étant plus présent dans les esprits, il n'en est souvent pas tenu compte. Il s'agit là d'une occasion manquée de progresser efficacement.

Amélioration de la
cartographie des
sols

Les progrès de l'avenir se fondent sur le savoir et les expériences du passé et du présent.

1.1 Objectif

D'une part, notre rapport donne une vue d'ensemble de la cartographie des sols en Suisse depuis ses origines. L'accent est mis sur le développement des 10 à 15 dernières années, sur l'état actuel de la technique et sur les améliorations constantes de la méthode de cartographie moyennant l'analyse sur le terrain.

État de la technique

D'autre part, ce rapport offre également des perspectives concernant les futurs objectifs de la cartographie des sols, qu'il s'agisse du développement de la cartographie des sols actuelle ou des différentes méthodes de modélisation en cours de développement.

Perspectives

Ce rapport n'est pas une aide à la cartographie

Ce rapport ne constitue toutefois pas une aide à la cartographie. A cet effet, veuillez consulter la documentation spécialisée.

1.2 Quelques termes importants

Quelques termes se rapportant au domaine de la cartographie des sols sont énumérés ci-dessous. D'autres définitions, parfois plus détaillées, sont présentées dans le chapitre 12 « Termes » et munies d'un renvoi aux sources correspondantes.

Termes se rapportant à la cartographie des sols en général

Carte, terme général

Carte : Une carte est une image dans un plan donné (carte topographique) de la terre (ou de parties de la terre) ou d'autres éléments du corps terrestre et de l'espace, représentée à une échelle réduite, simplifiée (généralisée) et complétée du point de vue du contenu. En règle générale, il s'agit d'une illustration analogue sur papier ou autre support durable ; mais le développement technique permet également une représentation à court terme sur écran, etc.

Contrairement au cartogramme, la carte expose fidèlement la situation et la position des faits. La carte présente un modèle structuré et à l'échelle de rapports spatiaux et d'objets dans un plan horizontal.

Carte des sols

Carte des sols : La carte des sols est un document en deux dimensions sur papier ou autre support d'informations. Elle présente une image simplifiée à coefficient de réduction élevé (exprimé par le dénominateur du rapport d'échelle) de l'organisation spatiale des sols dans leur environnement naturel.

Les cartes des sols représentent généralement la structure spatiale des sols d'un point de vue pédologique, jusqu'à 1 à 2 mètres en dessous de la surface du terrain. La description se porte sur la caractérisation systématique des sols, sur la séquence verticale de la genèse et de la composition des substrats, sur le matériel initial de la constitution du sol ainsi que sur de nombreuses propriétés physiques et chimiques (propriétés des substrats).

Cartographie des sols

Cartographie des sols : La cartographie des sols est un inventaire systématique et généralisé des sols.

Termes se rapportant à la cartographie numérique des sols (DSM)

Carte numérique des sols

Carte numérique des sols¹ : Une carte numérique des sols est une visualisation des données géo-référencées de propriétés des sols et/ou de types de sol. Le terme s'applique également à des cartes des sols « classiques » digitalisées.

Cartographie numérique des sols

Cartographie numérique des sols² : La cartographie numérique des sols est la production assistée par ordinateur de cartes numériques décrivant les types de sol et les propriétés pédologiques.

¹ Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

² Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Les cartes numériques des sols se basent sur des modèles statistiques qui combinent des données pédologiques qualitatives et quantitatives avec des covariables caractérisant les facteurs de pédogenèse au sens large.

1.3 Destinataires

Ce document s'adresse à différents groupes de destinataires :

- Ce document vise à présenter le développement de la cartographie des sols en Suisse aux spécialistes des sols actifs ou se trouvant encore en formation, ainsi qu'à tous les pédologues s'intéressant au sujet. Le développement depuis 1996, ayant conduit à l'état actuel de la technique et ayant été établi grâce à l'effort fourni dans certains cantons et dans le cadre du groupe de travail Cartographie des sols de la SSP, est un des thèmes centraux du présent document. Ce développement inclut également une gestion des données adaptée aux technologies actuelles.
Spécialistes de la cartographie des sols
- Ce rapport fournit aussi une excellente base d'informations pour les services cantonaux de protection des sols qui sont généralement les donneurs d'ordre dans le domaine de la cartographie des sols. Il est ainsi possible de soutenir et d'élargir, au niveau politique, l'argumentaire en faveur de la cartographie des sols et de l'acquisition d'informations pédologiques en général.
Services cantonaux de protection des sols
Niveau politique
- Ce rapport a également pour but de mettre à disposition de toute personne intéressée et nécessitant des données relatives à la cartographie des sols une sorte de méta-information concernant la nature et l'emplacement des données disponibles, que ce soit dans les institutions fédérales (p.ex. NABODAT) ou dans les services cantonaux.
Autres usagers d'informations pédologiques
- Ce document sert aussi à promouvoir l'intérêt face au développement en cours, qu'il s'agisse de la méthode de cartographie des sols « FAL+ » appliquée actuellement et que l'on cherche à établir, ou des travaux de recherche dans le domaine de la modélisation des cartes. A titre d'exemple, il convient d'attirer l'attention sur le projet « PMSoil » dans le cadre du projet national de recherche PNR 68 « Utilisation durable de la ressource sol ».
Personnes s'intéressant aux développements méthodologiques

2 Historique du développement de la cartographie des sols et de la disponibilité des données pédologiques

Système d'information pour les propriétés naturelles des sols

En Suisse, la cartographie des sols FAL jouit d'une longue tradition. Malgré quelques phases critiques, la cartographie des sols a su s'imposer en tant que source importante d'informations de base au sujet de notre écosystème et est devenue, au cours de ces dernières années, un système précieux d'informations concernant les propriétés naturelles des sols. Le système de classification étant bien accordé aux facteurs spécifiques de formation des sols suisses, la méthode de cartographie s'est améliorée au cours des dernières années et les volumes de données disponibles sont importants. Il est donc raisonnable de poursuivre l'utilisation de ce système bien établi, ce qui n'exclut pas pour autant l'apport de compléments ou d'améliorations.

Comparabilité des données

Cet axe stratégique correspond à celui adopté par les pédologues allemands et plus particulièrement par les spécialistes de la cartographie des sols qui renoncent à modifier d'une manière quelconque les informations gagnées à travers la « Reichsbodenschätzung » (depuis 1934 ; intitulée « Bodenschätzung » depuis 2008), dans le but d'en conserver la valeur et la comparabilité des données.

2.1 La cartographie FAL jusqu'en 1996

Premiers développements de méthodes

En Suisse, l'introduction de la cartographie des sols date d'il y a plus de 50 ans (cf. également la fiche d'information 1). Après les premiers essais de cartographie à la fin des années 1940, de premiers développements de méthodes ont eu lieu à partir de 1955 sous la direction d'Erwin Frei. A la suite d'une requête à l'adresse des conseils d'administration des stations fédérales de recherche en 1957, un institut de cartographie des sols a été établi à la station fédérale de recherche agronomique de Zurich-Reckenholz (alors nommée « FAP » ; aujourd'hui nommée Station de recherche agronomiques Agroscope Reckenholz-Tänikon ART) Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU. La cartographie des sols agricoles, et plus tard des sols forestiers, a été effectuée dans cette station centre jusqu'en 1996.

Classification des sols de Suisse

Une première classification des sols de Suisse, servant de base pour l'analyse correcte des sols, avait été publiée en 1948. Elle avait été développée à l'ETH Zurich par le Prof. Pallmann et ses collaborateurs. Par la suite, plusieurs révisions avaient été entreprises, tout d'abord à la station de recherche FAP Reckenholz, et par la suite en collaboration avec le groupe de travail « Classification et nomenclature » de la SSP. La troisième édition de la classification, datant de 2010³, a également été actualisée par ce groupe de travail. Pour la première fois, la classification des sols de 2010 a en outre été traduite en français et en italien.

³ SSP Société suisse de pédologie (2010) : Classification des sols de Suisse. Revu par le groupe de travail Classification et nomenclature. Troisième édition corrigée. Lucerne.

L'avant-propos de cette dernière édition souligne également l'importance de la classification en tant que norme pour l'application reproductible et l'échange d'informations se rapportant au sols⁴.

En 1963, un premier protocole pour la cartographie des sols agricoles⁵ a été rédigé à l'Institut de cartographie des sols (aujourd'hui nommé Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU). Le protocole de cartographie en vigueur aujourd'hui, en deuxième édition, date de 1997⁶.

Protocole pour la cartographie des sols agricoles

Le manuel de cartographie des sols forestiers, datant de 1996⁷, repose sur ce protocole de cartographie. Des compléments d'informations concernant l'analyse des formes d'humus ainsi qu'un chapitre important sur l'application et l'interprétation ont toutefois été rédigés spécialement pour l'exploitation forestière. Ce manuel est également paru en français⁸.

Protocole pour la cartographie des sols forestiers

Après la publication d'une carte des aptitudes culturales des sols de la Suisse à l'échelle 1:300'000 en 1975 et de la carte synoptique couvrant l'ensemble du territoire (Carte des aptitudes des sols « BEK » 1:200'000, 1980, Office fédéral de l'aménagement du territoire, DFJP), le projet à long terme de la « Carte des sols de la Suisse 1:25'000 » a été pris en main dès 1977 par le service de cartographie de Reckenholz. Treize feuilles de carte publiées au 1:25'000 et décrivant les sols agricoles et forestiers en sont le résultat.

BEK 200

Carte des sols de la Suisse 1:25'000

Trois cartes thématiques, sous forme analogique et le plus souvent au 1:5'000, sont des produits standard de la cartographie des sols effectuée dans le cadre de remaniements parcellaires ou d'améliorations foncières. Il s'agit d'une carte du bilan hydrique, d'une carte d'aptitude et d'une carte de risque. Le nombre de projets de ce genre, comprenant les cartes correspondantes ainsi que les rapports explicatifs, s'élève à environ 330. Agroscope prévoit d'établir à cet effet une base de métadonnées.

Carte des sols 1:5'000

2.2 Cartographie en surface dans les cantons

Outre les cartographies des sols mentionnées ci-dessus, le plus souvent effectuées dans le cadre de remaniements parcellaires, certains cantons, dont Zurich,

Cartographie de sols agricoles sur l'ensemble du territoire

⁴ Citation issue de l'avant-propos de la troisième édition : „...Für die gesamtschweizerische Nutzung und Anwendung von Bodendaten ist es wichtig, dass die Begriffe zur Charakterisierung von Bodeneigenschaften überall einheitlich interpretiert und gehandhabt werden. Deshalb sind Standardisierungen für die reproduzierbare Anwendung und für den Austausch der Bodeninformationen unentbehrlich. Bereits heute wird die ‚Klassifikation der Böden der Schweiz‘ für Projekte und Wegleitungen von nationaler Bedeutung als Standard vorausgesetzt“.

⁵ Pour mémoire : le premier protocole allemand de cartographie est paru en 1965.

⁶ SAR Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden; Brunner J., Jäggi F., Nievergelt J., Peyer K.. Schriftenreihe Nr. 24. Reckenholz, Zürich.

⁷ OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996): HANDBUCH Waldbodenkartierung. Autoren: Ruef A., Peyer K., Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau FAP, Reckenholz, Zürich. Herausgeber: BUWAL, Bern.

⁸ OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996): MANUEL Cartographie des sols forestiers. Rédaction: Ruef A., Peyer K.; Traduction: Bonnard L.-F., Station fédérale de recherches agronomiques FAP, Reckenholz, Zurich. Editeur : OFEFP, Berne.

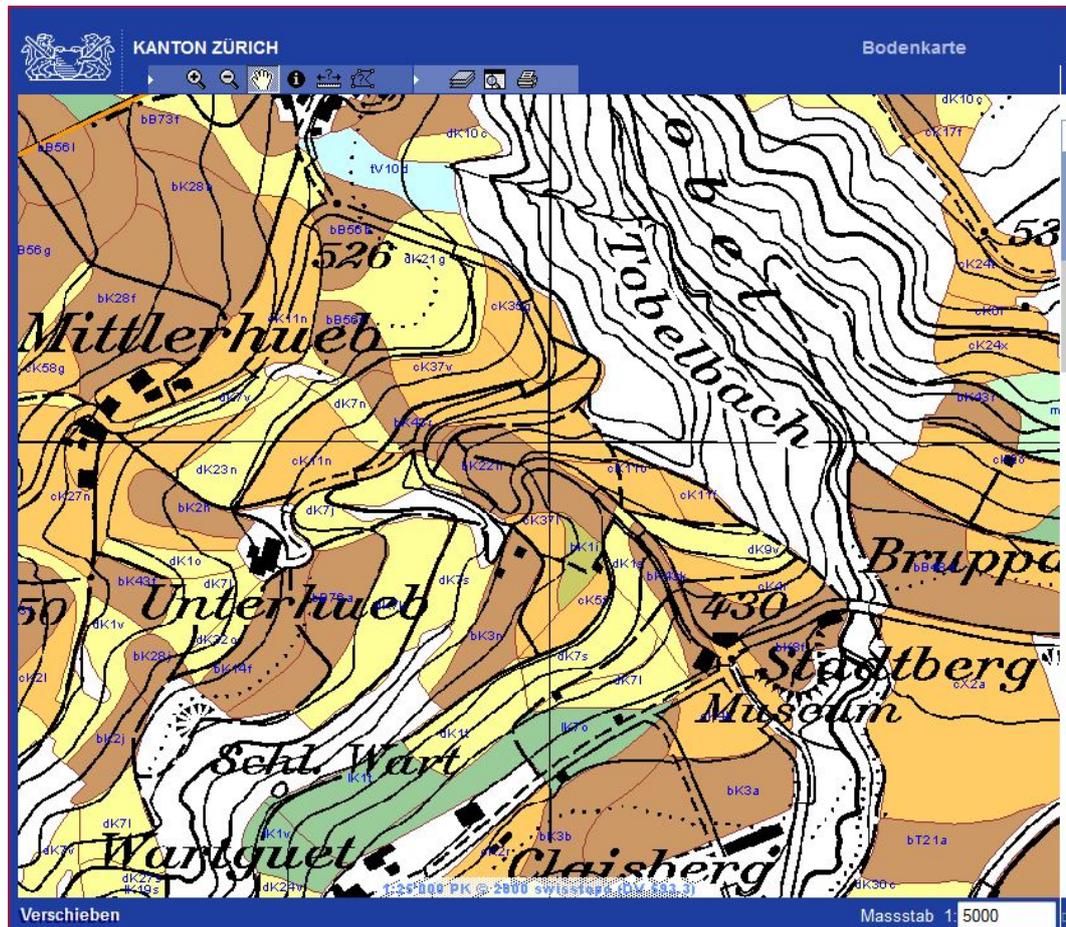
**Besoin en cartes
pédologiques pour
la protection des
sols**

**« Nouvelle » carto-
graphie des sols
dans les cantons**

Bâle-Campagne et Zoug, ont déjà pris en main dès 1988 la cartographie de la totalité de leurs surfaces agricoles à l'échelle 1:5'000.

La protection des sols, définie dans le cadre de la législation sur la protection de l'environnement à la fin des années 1980 et au début des années 1990, a engendré un besoin accru des organes cantonaux d'exécution en informations pédologiques détaillées. Par la suite, certains cantons, dont SO, LU, GL, VD et VS, ont entrepris des projets de cartographie des sols de plus en plus importants, le plus souvent au 1:5'000. Quelques cantons, dont le canton de Soleure depuis longtemps et le canton de Zurich depuis 2013, entreprennent non seulement la cartographie des sols agricoles mais aussi celle des sols forestiers.

Toutes les cartographies plus récentes font également de plus en plus souvent usage des nouvelles possibilités de saisie, de gestion et d'exploitation des données offertes par l'informatique. De telles cartographies des sols conduisent avant tout à une collection importante de données d'attribut tridimensionnelles pouvant servir à l'élaboration de cartes d'attributs, de cartes thématiques (cartes d'application) ou de cartes des sols classiques.



III. 1 : Carte des sols du canton de Zurich sur Internet

[cf. également : <http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gb.asp?app=boka>]

Un grand nombre de ces données pédologiques sont aujourd'hui disponibles sur Internet. Tel est par exemple le cas pour la carte des sols du canton de Zurich (Ill. 1) qui présente les types de sol et avec un code à quatre éléments.

Cartes des sols sur Internet

Les projets de cartographie des sols viticoles en Suisse romande et au Tessin ont fait usage de la classification française du « Référentiel Pédologique (RP) » pour saisir les sols. Les banques de données correspondantes (« access ») se trouvent auprès des services viticoles des différents cantons. Les informations ont été harmonisées et sécurisées dans le cadre d'un projet de l'École d'Ingénieurs de Changins (EIC) soutenu par l'OFEV. Un code de transcription permettant de traduire les données du système de classification RP en données compatibles avec la classification des sols de Suisse a été élaboré à cet effet. La migration de ces informations vers la base de données NABODAT se fait dans une deuxième étape. A ce jour, environs 1000 profils de sols viticoles des cantons mentionnés ont été traités.

Carte des sols viticoles en Suisse romande et au Tessin

Des informations détaillées concernant la cartographie des sols dans les cantons sont disponibles dans la fiche d'information 2. Projets de cartographie dans les cantons.

2.3 Evaluation des besoins en cartes des sols et en informations pédologiques

Après la cessation des activités de cartographie des sols à la Station fédérale de recherche de Reckenholz fin 1996, le nouveau groupe de travail 'Cartographie des sols' a été constitué en 1997 lors de l'assemblée annuelle de la SSP, à l'instigation des spécialistes exerçant une activité pratique dans ce domaine. Adalbert Pazeller en était le premier président. Depuis 1999, ce groupe de travail est présidé par Marianne Knecht.

Groupe de travail Cartographie des sols de la SSP

Par la suite, un vaste sondage écrit a été effectué dans le but d'évaluer la situation générale ainsi que les besoins. Les résultats des 200 questionnaires retournés sont publiés dans le document SSP 10⁹ (« Umfrage Bodenkartierung »). Le message principal tiré de ce sondage est que le besoin en cartes pédologiques à grande échelle est important. A cette époque déjà, la création d'un service d'information pédologique figurait parmi les toutes premières priorités.

Sondage au sujet de la cartographie des sols → Document SSP 10

2.4 Projet IS-CH Infosol Suisse

En raison du besoin cerné par le sondage mentionné ci-dessus, le groupe de travail 'Cartographie des sols' de la SSP a lancé en 2001 le projet IS-CH Infosol Suisse (Fiche d'information 3). Outre la présidente du groupe de travail en tant

IS-CH Infosol Suisse

⁹ SSP Société suisse de pédologie, groupe de travail 'Cartographie des sols' (2000) : Umfrage Bodenkartierung. Bedarfsabklärung Bodenkarten und Bodeninformation, Aufgaben im Zusammenhang mit der Bodenkartierung, Ideen zu einer Bodeninformationsstelle. Document SSP 10.

que directrice du projet, le comité comprenait des représentants de l'OFEV, des domaines de l'informatique et de l'assurance qualité ainsi que des services cantonaux de protection des sols.

Objectif	L'objectif premier d'IS-CH était de sauvegarder les données de profils pédologiques analogiques et de les convertir en format numérique. Des concepts, fondements et outils servant au stockage, à la gestion et à l'utilisation de données pédologiques nouvelles ou déjà existantes ont été développés. Au terme d'IS-CH en 2009, bon nombre d'objectifs fixés avaient été atteints (cf. ‚Schlussbericht 2003' ¹⁰ et ‚Schlussbericht der BGS an das BAFU' ¹¹).
Rôle des cantons et des offices fédéraux	Grâce au projet IS-CH (financement par l'OFEV, sections Observation de l'environnement et Protection des sols, ainsi que par les services cantonaux de protection des sols ; scans des profils par Agroscope ART), des milliers de feuilles de profils ont pu être sauvegardées et converties en format numérique par les spécialistes en pédologie moyennant les ressources élaborées et le logiciel de migration MIGRAPROFIL. Elles peuvent maintenant être mises à disposition pour l'utilisation. Dans la plupart des cas, ces travaux ont été commandés par les services cantonaux de protection des sols. Ils ont été effectués avec le soutien financier de l'Office fédéral du développement territorial (ARE), de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).
Numérisation « d'anciennes » informations de profils	
Préparation de la sauvegarde et numérisation des données surfaciques	De manière analogue aux données de profils, les bases nécessaires à la sauvegarde des données surfaciques ont été créées moyennant le développement d'un modèle de données surfaciques et d'instructions techniques. Cette tâche est aujourd'hui assumée par NABODAT (cf. chap. 2.5 et fiche d'information 4).
Les données structurées facilitent l'échange avec d'autres domaines se rapportant à l'environnement	

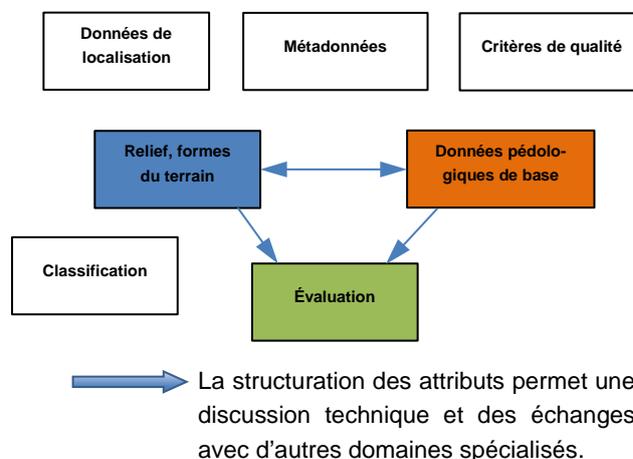
¹⁰ Knecht M. (2004): Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.

¹¹ Knecht M. (2009): Projekt Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht der BGS (Projektausschuss BICH) an das BAFU Bundesamt für Umwelt.

Les modèles de données conceptuels développés dans le cadre du projet IS-CH pour les profils de sols et les données surfaciques rendent possible un stockage et une gestion structurés des données. Les données organisées de telle manière facilitent l'échange avec d'autres domaines se rapportant à l'environnement. Le schéma suivant illustre les relations et les dépendances entre les différentes données de bases, les données d'attribut issus de la cartographie des sols et les informations qui en découlent :

**Modèle de données conceptuel, neutre par rapport à la technologie et aux systèmes
(dans INTERLIS)**

Représentation schématique, fortement simplifiée



Certaines parties du modèle de données conceptuel IS-CH ont été transférées dans un modèle de géodonnées minimal (MGDM) dans le cadre des géodonnées de base 'NABO et résultats de la surveillance par les cantons des atteintes portées aux sols'. Il s'agit d'un pas important vers un stockage sûr et structuré des données.

MGDM modèle de géodonnées minimal

La numérisation « d'anciennes » données pédologiques a été une immense étape dans le sens d'une accessibilité et d'une sécurité des données fortement améliorées. Par la même occasion, la valeur des « anciennes » cartes pédologiques et de leurs informations a nettement augmenté.

La continuation de ces tâches a été confiée à l'organisation Réseau NABODAT (<http://www.nabodat.ch/index.php/fr/>). Le contact direct est assuré par le centre de service NABODAT, rattaché à l'observatoire national des sols NABO et sis à Agroscope, Institut des sciences en durabilité agricole IDU.

Continuation des travaux par le Réseau NABODAT

2.5 NABODAT

Système national d'information pédolo- gique NABODAT

Parallèlement au projet Infosol Suisse (IS-CH), une étude de faisabilité pour le développement d'une base de données concernant les atteintes portées aux sols a été effectuée en 2003 par l'Observatoire national des sols (NABO) à la FAL (Agroscope Reckenholz). Avec l'approbation de la demande de projet soumise en 2005, l'OFEV s'est décidé à développer un système national d'information pédologique (NABODAT), comprenant non seulement les informations sur les profils des sols mais aussi celles concernant les atteintes aux sols (cf. fiche d'information 4 : NABODAT).

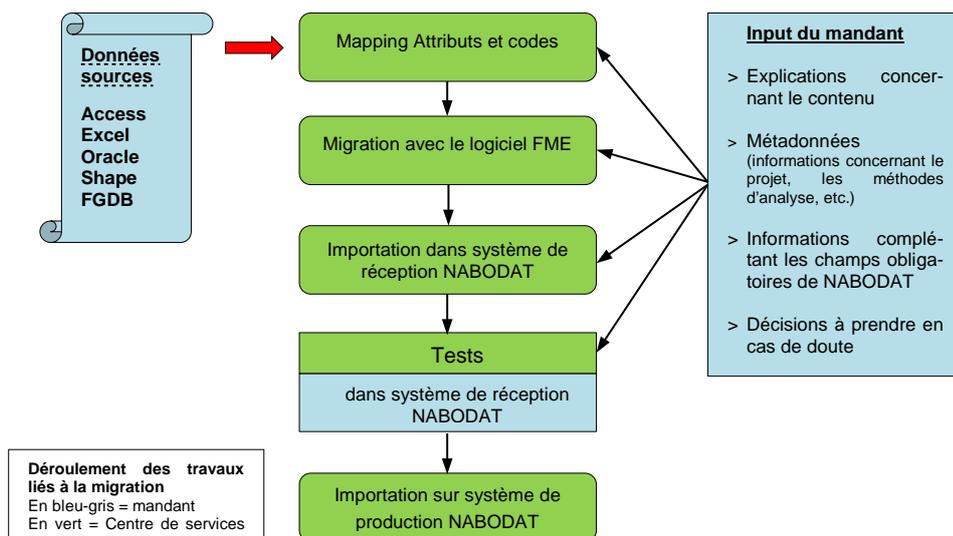
Basée sur BODAT, la solution cantonale éprouvée, NABODAT est l'application spécialisée pour les deux jeux de géodonnées de base, à savoir l'observation nationale des sols NABO et la surveillance cantonale des atteintes portées aux sols FABO (identificateurs 124 et 125 dans l'annexe 1 d'OGéo). A cet effet, le modèle de données NABODAT05, initialement développé à partir de données sur les polluants, a été combiné avec les modèles du système cantonal BODAT 4.2 et le modèle de données IS-CH, et restructuré du point de vue du concept. Cette restructuration a été réalisée dans le but de permettre une gestion parallèle et équivalente des données de profils d'une part et des mesures pédologiques résultant de la surveillance et de l'observation des sols d'autre part. Grâce au précieux soutien des représentants de plusieurs services cantonaux de protection des sols dans le cadre de la conception détaillée et du groupe test de NABODAT, il a été possible de tenir compte des besoins des utilisateurs actuels lors du développement du système d'information pédologique.

Données pédolo- giques harmoni- sées au niveau national

Le développement des composantes techniques d'un système d'information pédologique pour la gestion de données harmonisées au niveau national est certes complexe. Cependant, cette tâche est facilement réalisable grâce aux logiciels actuellement disponibles, également en vue de futures extensions. Le développement du modèle de données a rapidement donné lieu à une constatation importante : après la dissolution en 1996 du service national de cartographie des sols sis à la FAL/FAP, la Suisse ne disposait plus d'une institution nationale chargée de l'entretien et de la coordination de l'harmonisation et de la standardisation de la cartographie et des informations pédologiques au niveau national. Une telle institution est cependant indispensable au développement du réseau NABODAT.

Centre de services NABODAT

Comme illustré dans le schéma ci-dessous, le centre de services NABODAT offre aux détenteurs de données (mandants) une transcription technique détaillée de leurs données pour l'importation dans NABODAT :



III. 2 : Schéma illustrant la procédure de transcription des données sources et leur importation dans NABODAT ¹²

Grâce aux composantes techniques, le centre de services NABODAT est à même de mettre en œuvre les références existantes en vue de leur exploitation. Cependant, il ne peut pas définir en tant que norme helvétique des références manquantes à l'aide de listes de codes. En Suisse, un service national de pédologie à cet effet fait de toute évidence défaut. La motion déposée par le conseiller national Müller-Altermatt fin 2012 exprime la nécessité d'un centre national de compétences pédologiques exigé par divers organes ¹³.

Nécessité d'un centre national de compétences pédologiques

Le réseau NABODAT est composé des offices fédéraux et des autorités cantonales. La direction du projet se rapportant au système d'information pédologique incombe à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). La direction technique et le centre de services NABODAT sont du ressort de l'Observatoire national des sols (NABO) sis à la station de recherche Agroscope Reckenholz (INH).

Réseau NABODAT

En vue d'un éventuel échec de la motion Müller-Altermatt, il convient de développer un plan alternatif intégrant toutes les forces importantes de la Confédération, des cantons et de la SSP et tenant compte des structures helvétiques fédéralistes (cf. également le sondage au sujet de la cartographie, « Umfrage Bodenkartierung », document 10 de la SSP, 2000).

¹² <http://www.nabodat.ch/index.php/bodeninformationssystem-nabodat2345/migration-digitaler-bodendaten.html>

¹³ 12/4230 – Motion ; Müller-Altermatt Stefan : Centre national de compétences pédologiques. Un gain pour l'agriculture, l'aménagement du territoire et la protection contre les crues.

Entre-temps, la motion a été rejetée par le Conseil fédéral et approuvée par le Conseil national ; le Conseil des Etats ne s'est pas encore penché sur le sujet (état septembre 2014). Le texte de la motion n'inclut pas les sols forestiers. Ainsi, il n'est pas tenu compte d'environ la moitié de la surface de production suisse (cf. statistiques des surfaces ci-après), y compris toutes ses prestations écologiques supplémentaires. Il reste à espérer qu'il sera remédié à ce déficit au cours de la discussion parlementaire.

Statistique des surfaces [2012] : forêts 1'258'000 ha ; agriculture 1'051'000 ha (+ pâturages d'estivage : env. 500'000 ha)

2.6 Etat de la saisie, du stockage et de la sauvegarde des données

Le stockage et la sauvegarde des données pédologiques s'est nettement amélioré au cours des 20 dernières années grâce aux possibilités offertes par les bases de données électroniques. Ainsi, l'accessibilité et les possibilités d'application de ces informations pour les utilisateurs les plus variés est assurée.

IS-CH Infosol Suisse

IS-CH et la numérisation des données

Les conditions (modèles de données, aide-mémoire, standards) nécessaires à l'harmonisation et à la numérisation des données de profils analogues, et dans un deuxième temps des données surfaciques, ont été mises en place dans le cadre du projet IS-CH de la SSP (2001-2009).

MIGRAPROFIL

Le logiciel de transcription MIGRAPROFIL, développé dans le cadre d'IS-CH, permet un transfert pratique de données de profils plus anciens provenant de différentes générations de clés de données dans un modèle de données unique et moderne.

NABODAT Confédération et cantons

Application web spécialisée NABODAT

Grâce à l'application spécialisée NABODAT, la Confédération et les cantons sont en état de gérer les données des sols disponibles en Suisse. Les ayants droit des cantons, de la Confédération et des stations de recherche se connectent sur Internet et consultent les services exigés par les mandants.

Banques cantonales de données pédologiques

Stockage des données dans les cantons

Les cantons qui gèrent leurs données de cartographie des sols électroniquement depuis des années utilisent le plus souvent leurs propres bases de données (p.ex. Boden2000 dans le canton de ZH ; IS-Boden dans le canton de SO; Bodeninformationssystem BISG dans le canton de SG). Les autres cantons, en particulier ceux qui transcrivent leurs données de profils analogues avec MIGRAPROFIL, se servent le plus souvent de NABODAT.

Sauvegarde des données

Sauvegarde des données

Mis à part la saisie de nouvelles données, une tâche importante à accomplir ces prochaines années voire décennies sera la sauvegarde et l'entretien des différentes banques de données déjà existantes ou à créer, ainsi que la coordination de leurs multiples options d'utilisation.

2.7 Compétences et répartition des tâches

Pas de dispositions contraignantes

En Suisse, il n'existe officiellement pas de dispositions contraignantes concernant la réalisation de la cartographie des sols.

Dans l'ensemble, l'ampleur de la cartographie helvétique est encore relativement faible par rapport à celle de certains de nos pays voisins, tels que l'Autriche ou l'Allemagne, et à celle d'autres États européens, avant tout en Europe centrale et en Europe de l'Est, qui, dans le passé, accordaient une plus grande importance à la connaissance des propriétés pédologiques.

Le retard pris par la Suisse en ce qui concerne la mise en œuvre de la cartographie des sols suscite de l'étonnement, notamment en raison de la part relativement petite des bonnes terres fertiles par rapport à la surface totale¹⁴. Grâce aux efforts fournis par les services cantonaux de protection des sols en collaboration avec le groupe de travail 'Cartographie des sols' de la SSP, la situation en matière d'informations pédologiques s'est améliorée au cours des 15 dernières années. Elle reste toutefois insatisfaisante, particulièrement en raison du besoin en informations et en bases de décision améliorées pour la protection des sols, non seulement dans les domaines de l'agriculture et de la sylviculture, mais aussi de l'aménagement du territoire.

**Retard helvétique
relatif à la carto-
graphie des sols**

Il convient de garantir que certaines normes cartographiques, non pas forcément légales mais tout au moins méthodologiques, soient respectées, également dans le cadre de futurs projets. Dans le contexte de la garantie de disponibilité et de comparabilité des géo-données, cette exigence gagne encore en importance.

Normes techniques

Un des rôles de la SSP, ancré dans les statuts de la société¹⁵, étant celui d'un organe spécialisé responsable de la saisie des propriétés naturelles des sols de l'ensemble du territoire, celle-ci est tenue de poursuivre l'exécution de sa mission.

**Rôle de la SSP en
tant qu'organe
spécialisé**

¹⁴ LEGROS in « Cartographie des sols » (1996): « ...Curieusement, en dépit de la rareté de ses bonnes terres et en dépit d'une grande attention accordée à la sauvegarde du milieu naturel, la Suisse n'a pas fait beaucoup d'efforts pour la cartographie de ses sols... »

¹⁵ Statuts BGS, Art. 2.

3 Méthodes de cartographie des sols

3.1 Remarques générales concernant la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain

Importance de la qualité des données

De manière générale, une bonne et « correcte » description d'un sol est basée sur un ensemble aussi large que possible d'informations sûres et de bonne qualité concernant l'objet à décrire.

Cartographes des sols dotés d'expertise

Au niveau de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain, l'expérience du cartographe joue un rôle essentiel dans le processus même de cartographie. Le cartographe est en possession du savoir rassemblé lors de collectes de données (« cartographies ») antérieures. Il code les nouvelles informations de manière très précise. En tant qu'expert (lat. « expertus » : expérimenté, éprouvé, ayant fait ses preuves), il se caractérise par un important savoir objectif, accompagné d'une subjectivité technique raffinée¹⁶.

3.2 Systèmes de classification et protocole de cartographie

Systèmes nationaux de classification

Au cours du processus de cartographie défini par le protocole, les systèmes de classification forment le fondement d'une description adéquate des sols. Il existe un grand nombre de systèmes de classification nationaux, dont la classification des sols de Suisse (cf. chap. 2.1).

Systèmes internationaux WRB

Un moyen de communication international pour l'échange d'informations pédologiques est également nécessaire et est aujourd'hui fourni par le WRB (World Reference Base for Soil Resources). Il s'agit du projet successeur de la méthode de classification des sols de la FAO. Le WRB est une base de référence ne visant pas à remplacer les classifications nationales.

Ces dernières se distinguent par la fidélité des détails et par la précision par rapport aux sols propres à chaque pays ; qualités ne pouvant pas être atteintes moyennant le WRB, prévu pour une utilisation à l'échelle mondiale et pour un spectre beaucoup plus large de sols.

En vue d'un échange professionnel avec nos pays voisins, il importe de connaître les systèmes de classification nationaux et les protocoles de cartographie respectifs, à savoir :

Bodenkundliche Kartieranleitung, Allemagne

- **Bodenkundliche Kartieranleitung (D)**
La 5e édition (KA 5) de ce protocole allemand de cartographie, publié pour la première fois en 1965, contient une classification détaillée. Le processus de cartographie, quant à lui, est décrit relativement succinctement. La KA5 est parue en 2005.¹⁷ Une prochaine révision est en discussion.

¹⁶ Déclaration faite par analogie à une considération neurophysiologique de : Kaeser E. (2013): Wein, Wissen und Geschmack. ‚Nordwestschweiz‘, 30 mars 2013, p. 7.

¹⁷ Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5)*. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.

Les tableaux de ce protocole de cartographie forment le fondement de nombreuses fonctions de pédotransfert¹⁸ ou de cartes fonctionnelles des sols se basant sur ces fonctions.

Pour la mise en œuvre pratique de la protection des sols, une version courte, présentant un nombre réduit de paramètres, a été publiée en 2009.¹⁹

- Référentiel pédologique (F)

Le Référentiel pédologique²⁰ est le système de référence (typologie) pertinent à la France pour la caractérisation des sols. En association avec les protocoles de Legros „Cartographies des sols“²¹ ainsi que de Baize et de Jabiol „Guide pour la description des sols“²², il forme le fondement de la cartographie des sols en France.

Référentiel pédologique France

- Protocole « Einführung Bodenkartierung » (A)

En Autriche, la cartographie des sols au 1:25'000, présentant bien au-delà de 200 feuilles de cartes digitalisées, est pratiquement terminée. Les relevés sur le terrain ont été effectués au 1:10'000 sur la base de la « Einführung Bodenkartierung »²³ et de la Österreichische Bodensystematik (ÖBS).²⁴

Einführung Bodenkartierung Autriche

3.3 Le protocole de cartographie FAL et son développement ultérieur

Le protocole de cartographie FAL, appliqué depuis plus de 50 ans, est le protocole le plus utilisé en Suisse. Il existe tant pour les sols agricoles que pour les sols forestiers. Il se sert des mêmes éléments de base pour les deux formes d'utilisation (cf. chap. 2.1). Ces protocoles contiennent également des descriptions détaillées des méthodologies et des procédures.

Pour la cartographie des sols viticoles, les données du terrain rassemblées selon le Référentiel pédologique ont été transcrites dans la systématique de la Classification des sols de Suisse et ainsi harmonisées en vue d'une intégration dans NABODAT, la base de données pédologiques de la Confédération (cf. également chap. 2.2).

¹⁸ Müller U. (2004) : Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 7. erweiterte und ergänzte Auflage. Arbeitshefte Boden.

¹⁹ Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2009) : Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz. 1. Auflage. Hannover.

²⁰ AFES Association française pour l'étude du sol (2009): Référentiel pédologique 2008. Coordination éditoriale : Baize D.; Editions Quae.

²¹ Legros J.-P. (1996) : Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Collection Gérer l'environnement 10, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

²² Baize D. et Jabiol B.(1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.

²³ Bodenkartierung Österreich: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft BFW, Wien. A consulter en ligne : <http://www.bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7049>

²⁴ Österreichische Bodensystematik (ÖBS) 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Nestroy O. et al.. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft. 1190. Wien. 2011.

**Développement
après 1996 aboutissant à la méthode de cartographie « FAL+ »**

Après la cessation des activités de cartographie des sols à la FAL (fin 1996), le canton de Soleure a poursuivi le développement de la méthode « FAL » (cf. également la fiche d'information 1) en vue de cartographier l'ensemble de son territoire²⁵, donnant naissance à la méthode de cartographie « FAL+ ». Celle-ci a plus tard été reprise par d'autres cantons. Les modifications les plus importantes sont le jeu de données standard par polygone en renonçant à une légende, la méthode de saisie basée sur le SIG ainsi que la rédaction d'un manuel décrivant de manière détaillée les processus du projet et l'assurance qualité (cf. fiche d'information 6/ Principes de garantie de qualité).

Les modifications décisives en matière de collecte et de gestion des données doivent leur existence aux possibilités offertes par le traitement électronique des informations. Ainsi, la méthode de cartographie « FAL+ » permet aujourd'hui de créer des produits modernes se rapportant aux informations pédologiques.

Etat de la technique en 2014

La procédure appliquée actuellement est décrite ci-dessous (de manière schématique et simplifiée) :

²⁵ Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn. Amt für Umweltschutz. Berichte Nr. 23. Dezember 1995.

Thème	Méthodologie	Qualité / Application
Méthode de cartographie unitaire	La cartographie des sols forestiers et agricoles se fait en principe selon la même méthode	Des évaluations intégrales pour divers types d'utilisation sont possibles (p.ex. pour la protection contre les crues)
Structure des reliefs	Recensement de reliefs simples et complexes	Relation étroite entre le relief et la constitution du sol
Données pédologiques pour points et surfaces	Les données pédologiques de bases sont des évaluations non classées	Pas de génération de classes, permettant ainsi des évaluations différenciées
	Dans la banque de données, les données pédologiques de bases sont classées en tant qu'attributs individuels	Impression de cartes par attributs individuels : visualisation de l'homogénéité dans la surface Attributs individuels : évaluation (également combinée) selon l'application (p.ex. avec la fonction de pédotransfert)
	Un jeu de données par polygone	Informations pédologiques au polygone près; absence de légendes (agrégées)
Sol de surface et sous-sol	Les données de base des sols sont collectées dans le sol de surface et le sous-sol	Les informations supplémentaires issues du sous-sol sont indispensables à de nombreuses évaluations (p.ex. la sensibilité à la compaction)
Profondeur physiologique	Epaisseur de la couche de sol pénétrée par les racines, déduction faite, entre autres, de la part squelettique	Profondeur physiologique : relation directe avec la surface d'assolement (aménagement du territoire) Profondeur physiologique : paramètre important dans la définition du volume de rétention ainsi que pour de nombreuses applications

Tabl. 1 : Qualités de la cartographie « FAL+ » [état de la technique en 2014]

La méthode de cartographie « FAL+ » est fortement axée sur l'utilisation et est de grande valeur pour de nombreuses nouvelles questions se posant avant tout dans le domaine de la protection de l'environnement. Elle se distingue par les qualités suivantes :

- Elle est la même pour les sols forestiers et agricoles et permet ainsi une représentation intégrale des propriétés pédologiques et des grandeurs qui en découlent, au-delà des limites actuelles des types d'utilisation.
- La méthode de cartographie FAL met l'accent sur les rapports entre la structure des reliefs et la pédogenèse. En Suisse, le fait qu'il existe une corrélation étroite entre les formes complexes des reliefs ou terrains et la pédogenèse, et qu'il convient de les cartographier en conséquence, avait déjà été reconnu

Méthode commune pour les sols forestiers et agricoles

Structure des reliefs et pédogenèse

en 1963²⁶. Les formes du terrain définies dans la classification FAL comprennent des unités de relief morphographiques tels que les pentes, plateaux et plaines, mais aussi des formes plus complexes telles que les dépressions, têtes, etc. Cette approche est également encouragée par le protocole allemand de cartographie (KA 5, p. 63) : « *Les types naturels de formes du relief, sont des définitions purement morphographiques, libres de toute interprétation morpho-génétique... On distingue entre les types de formes simples et complexes... Alors que la forme de relief simple se trouve au premier plan lors de relevés ponctuels, le type complexe gagne en importance lors de la description du contenu des surfaces* ». Dans le cadre de son exposé « *Hyperskaliges DSM-Relief als Proxy* »²⁷, T. Behrens a présenté, en 2013, une comparaison entre le calcul de types complexes de formes du relief et les analyses de reliefs traditionnelles moyennant des informations purement 'caténaires'.

Jeu de données de polygones standardisé

- L'étape de l'inventaire utilisée par le passé et consistant à assigner des polygones à une légende définie au préalable n'est plus d'actualité. A présent, un jeu de données individuel et standardisé est recueilli pour chaque polygone. En outre, une agrégation des formes de sol en unités de sol ne s'effectue plus. La plupart des données à récolter sont des valeurs estimées, et non classées, des propriétés pédologiques (données de base), permettant une évaluation « sur mesure » : les données des polygones peuvent être associées directement à des algorithmes ou des fonctions de pédo-transfert.

Analyse des propriétés du sol de surface et du sous-sol

- Dans le cadre de la cartographie de surface, les données pédologiques de base, y compris l'épaisseur, sont toujours recueillies pour le sol de surface et le sous-sol. Cette différenciation est importante pour de nombreux attributs qui en découlent, telle la profondeur physiologique ; valeur qui, à son tour, sert de base pour certaines cartes fonctionnelles importantes.

La méthode de cartographie « FAL+ » est une méthode fortement axée sur l'application, qui permet des interprétations et évaluations se rapportant à la sylviculture, l'agriculture et l'aménagement du territoire. Il existe également un grand potentiel d'application dans divers domaines touchant à l'environnement, sous forme de cartes monothématiques (« soil attribute maps ») et de cartes fonctionnelles des sols (« functional soil maps »).

Possibilités d'utilisation des cartes des sols axées sur l'application

Concrètement, les possibilités d'utilisation des cartes des sols axées sur l'application sont les suivantes :

- Agriculture et sylviculture : utilisation adaptée au site, questions liées au bilan hydrique en rapport avec les changements climatiques, dangers potentiels (érosion, compaction, etc.).

²⁶ Frei E., Juhasz P. (1963): Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz. Landw. Forschung.

²⁷ Atelier du groupe de travail Digital Soil Mapping de la DBG, 11-12 avril 2013 à Tübingen.

- Aménagement du territoire : les thèmes les plus importants à l'heure actuelle sont la délimitation de surfaces d'assolement et la protection des sols fertiles dans le cadre de processus de planification.
- Protection de l'environnement et protection des sols en particulier : bases pour l'évaluation des risques potentiels pour les sols dus à des facteurs perturbateurs d'ordre chimique, physique et biologique et les répercussions de ces facteurs sur d'autres biens environnementaux tels que l'eau (protection de la nappe phréatique, délimitation des zones de protection), etc.
- Description d'espaces naturels : pour les applications pratiques et les projets de recherche en pédologie, sciences de la terre, hydrologie, etc.

Le sous-projet 3²⁸ dans le rapport final du projet IS-CH Infosol Suisse de 2003²⁹ offre une vue d'ensemble large et détaillée des domaines d'application de données pédologiques axées sur l'utilisation. Ce projet décrit en détail 20 demandes-types.

3.4 Cartographie numérique des sols (Digital Soil Mapping DSM)

Comme déjà décrit dans le chapitre 1.2, la cartographie numérique des sols (cf. également la fiche d'information 5: (DSM Digital Soil Mapping) est une production assistée par ordinateur de cartes numériques décrivant les types de sol et leurs propriétés.

Méthodes de modélisation

Selon le Report EUR 22123 EN³⁰, il est généralement possible de distinguer **trois méthodes différentes de modélisation** :

- "Data-Mining":
Basé sur des « données d'apprentissage » et des règles prédictives, les valeurs estimatives pour les propriétés pédologiques sont déterminées moyennant de multiples régressions. Souvent le procédé est lié à des applications SIG.
- Méthode géostatique :
Outre la méthode prédictive (cf. ci-dessus), il est également tenu compte des corrélations spatiales des données pédologiques moyennant une méthode améliorée du « kriging ».

Méthode de modélisation selon EUR 22123

²⁸ Lüscher C. (2004): Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden. Bodeninformation Schweiz BICH, Teilprojekt 3.

²⁹ Knecht M. (2004): Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.

³⁰ Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

· Méthode du cartographe des sols :

Les fonctions de modélisation sont combinées avec le savoir du cartographe des sols connaissant bien le terrain, puis améliorées. De telles méthodes « hybrides » sont souvent utilisées en combinaison avec le data-mining ou avec des modèles géostatistiques, en incluant les données issues de cartes pédologiques numériques déjà disponibles.

Méthode de modélisation utilisée dans le cadre de PMSoil (PNR68)

La méthode de modélisation utilisée au niveau du PNR68³¹ dans le cadre du projet « PMSoil : Cartographie des propriétés du sol pour une évaluation des fonctions du sol à l'échelle régionale »³² est la suivante :

Les informations métriques, ordinales ou nominales relatives aux propriétés des sols sont mises en relation avec des co-variables concernant les facteurs de formation des sols disponibles pour l'ensemble de la surface moyennant diverses méthodes statistiques. Outre les multiples régressions linéaires, il a plus récemment été fait usage de procédures de régression non linéaires telles que les arbres de classification et de régression (CART), les réseaux neuronaux et autres procédures propres au « machine learning » (boosted CART, random forest).

Procédures sans corrélations causales

Le point commun à toutes ces procédures est qu'elles ne cherchent pas forcément à faire usage de corrélations causales entre les données pédologiques et les covariables pour l'interpolation spatiale. La plupart du temps, ces modèles ne sont en état de représenter que partiellement les motifs spatiaux dans les données pédologiques. Pour cette raison, les résidus, donc les différences entre les valeurs mesurées et modélisées, présentent souvent encore une structure spatiale ; c'est-à-dire qu'ils ne varient pas de manière tout à fait aléatoire dans l'espace.

Les méthodes géostatistiques paramètrent cette autocorrélation et en font usage pour améliorer les prédictions spatiales issues des modèles de régression ajustés : la méthode de « kriging » géostatistique corrige vers le bas les prédictions dans les régions de la cartographie, dans lesquelles le modèle de régression prédit de manière systématique des valeurs trop élevées, et vers le haut dans d'autres régions où les prédictions sont systématiquement trop basses.

3.5 Erreurs de prédiction

Toute prédiction est entachée d'une marge d'erreur

Toute prédiction, qu'elle soit dérivée d'une carte des sols basée sur des polygones et d'un tableau de propriétés des sols associée à celle-ci ou d'un modèle statistique, est entachée d'une marge d'erreur.

³¹ Nationales Forschungsprogramm NFP68: Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden. 2013-2017.

³² Titre originale: PMSoil : Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale. Responsable du projet : Andreas Papritz, ETH Zurich

La prédiction de propriétés des sols basée sur des polygones se sert implicitement d'un modèle statistique dans lequel on admet que les vraies valeurs d'une propriété pédologique au sein d'un polygone varient de manière tout à fait aléatoire autour d'une valeur constante (ou d'un groupe de polygones semblables). Pour ce modèle, la meilleure prédiction de la propriété du sol (soit la prédiction qui minimise la variance de l'erreur de prédiction) est égale à la valeur moyenne des mesures en tous les points de mesures au sein de ce polygone (ou au sein d'un groupe de polygones semblables). Cette situation n'est valable que si les valeurs de mesure de la propriété du sol au sein du polygone varient sans structure perceptible, ce qui n'est souvent pas le cas. La prédiction d'une carte des sols basée sur des relevés de terrain avec tableau d'attributs associée correspond donc à un modèle statistique simple.

La qualité de la prédiction à l'aide de valeurs moyennes basées sur des polygones dépend donc de la qualité de la représentation de la variance spatiale des variables du sol au travers des strates spatiales des polygones.

Dans un futur projet de cartographie des sols basée sur des relevés de terrain, il conviendrait d'examiner la caractérisation de la précision des prédictions spatiales basées sur des polygones.

Il est possible d'améliorer la prédiction obtenue moyennant des cartes pédologiques modélisées en utilisant un modèle se servant, outre une variable de groupement nominale qui définit l'appartenance d'un point de prédiction aux différents polygones, d'autres covariables pour représenter la variation spatiale au sein des polygones.

Cette question est également examinée dans le cadre du projet PMSoil (cf. chap. 3.4) : les valeurs de mesure issues de la cartographie des sols des cantons de Zurich et de Bern sont subdivisées en un jeu de données de validation et en un jeu de données de calibration. Ce dernier sert à calculer les valeurs moyennes pour les polygones et à calibrer les modèles statistiques.

A la différence de prédictions dérivées d'une carte des sols basée sur des relevés de terrain, une bonne prédiction statistique offre de surcroît une mesure statistique de l'envergure de l'erreur de prédiction.

3.6 Rôle du SIG

Tant au niveau de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain (surtout en phase de développement de la carte conceptuelle pour un périmètre à cartographier) qu'au niveau de la cartographie des sols numérique, les auteurs s'appuient souvent sur des données de base très variées qui, généralement, sont également disponibles sous forme de couches SIG. Il convient par exemple de mentionner le modèle numérique de terrain, les cartes géologiques et phytosociologiques, les plans de drainage, les documents liés aux remaniements parcellaires, les plans forestiers, mais aussi les photos aériennes stéréoscopiques, ortho-photos, etc.

Erreurs de prédiction liées aux cartes des sols basées sur des polygones

Erreurs de prédiction dans les cartes pédologiques modélisées

Emploi de données SIG de base

**L'outil de soutien
SIG**

Il est à noter que ces outils SIG sont à considérer comme des outils de soutien uniquement, indépendamment de la manière dont se déroule la cartographie et tout particulièrement dans le cas de la modélisation de cartes des sols. A cet égard, il convient de prendre en considération une remarque faite par McBratney (2003)³³, qui attire clairement l'attention sur ce malentendu fréquent : „GIS, a tool for collating all kinds of spatial information, in itself is incapable of soil mapping; it requires an intellectual framework...“

3.7 Garantie de qualité

Critères de qualité

3.7.1 Exigences générales de qualité envers la cartographie des sols

Les exigences auxquelles sont soumises les cartes des sols sont élevées puisque ces dernières servent non seulement à la représentation des conditions pédologiques dans un territoire défini, mais aussi de plus en plus souvent de source de données d'entrée pour de nombreuses autres utilisations (cartes dérivées). Cependant, les erreurs au niveau des cartes des sols conduisent à des erreurs dans les données qui en sont dérivées, susceptibles quant à elles d'avoir des répercussions fatales sur les mises en œuvre qui en découlent.

**Nécessité de
l'assurance qualité,
indépendamment
de la méthode utili-
sée**

De manière générale, il convient de relever que la création de carte des sols sans mesures de garantie de qualité clairement définies ne correspond pas à l'état actuel de la technique, quelle que soit la méthode choisie. Des produits dont l'assurance qualité n'est pas prouvée doivent être qualifiés de non conformes aux exigences actuelles.

3.7.2 Réflexions liées à la qualité en rapport avec la collecte de données pédologiques de base

**Exigences en ce
qui concerne la
qualité lors de la
récolte de données
pédologiques de
base**

Il convient d'accorder une importance particulière à la qualité de la récolte des données pédologiques de base. Celle-ci doit être effectuée par des spécialistes de la cartographie des sols à la fois qualifiés et expérimentés.

Cette nécessité va de soi lorsqu'on reconnaît les répercussions que peut avoir la précision observée lors de la récolte de données pédologiques de base importantes sur toutes les étapes suivantes d'évaluation et sur les produits d'application :

³³ McBratney A.B., Mendonça Santos M.M., Minasny B. (2003): On digital soil mapping. Geoderma 117, 3-52.

Données pédologiques de base : Attribut	Difficulté de la mesure	Répercussion sur la fonction de contrôle et sur la réaction
pH	faible	faible
Calcaire	faible	faible
C_{org} (Humus)	moyenne (lors de C _{org} > 6)	faible
Granulométrie	nécessite de l'expérience	importante
Pierrosité	nécessite de l'expérience	moyenne à importante
Profondeur physiologique	nécessite de l'expérience	importante

Ce tableau prouve que, durant la formation des spécialistes de la cartographie des sols, l'apprentissage de la récolte de données pédologiques de base nécessite un entraînement particulier (p.ex. granulométrie, squelette ou profondeur physiologique). Le C_{org} (humus), en revanche, est relativement facile à modéliser puisque les corrélations avec le mode d'utilisation et l'exploitation sont bonnes.

Les répercussions potentielles d'une analyse inadéquate deviennent évidentes lorsqu'on considère par exemple que lors de la détermination de la capacité au champ de l'espace racinaire effectif (la donnée la plus importante en rapport avec l'approvisionnement en eau des plantes), les paramètres granulométrie, pierrosité et profondeur physiologique jouent un rôle central.

La profondeur physiologique surtout est une valeur quasiment impossible à estimer sans détermination précise sur le terrain par des spécialistes expérimentés ; cette valeur exerce cependant une influence directe sur la valeur de la profondeur physiologique.

Il en va de même pour la capacité de sorption en rapport avec la charge en polluants des sols, où trois attributs de cartographie des sols, à savoir le pH, la granulométrie et la teneur en humus, jouent un rôle significatif dans le calcul du paramètre indicatif « capacité d'échange cationique ».

La quintessence de ces réflexions est que la détermination de données pédologiques exige toujours une grande expertise dans le domaine et une vaste expérience, quelle que soit la méthode choisie.

Répercussions d'une analyse inadéquate

3.7.3 Mesures d'assurance qualité

Le respect des exigences de qualité est garanti grâce à des mesures adéquates d'assurance qualité (cf. fiche d'information 6 : principes de garantie de qualité). L'accent est mis sur un processus bien contrôlé, allant de l'attribution des travaux à la remise des données pédologiques et des produits qui en résultent. Sur le

Mesures d'assurance qualité

terrain, des contrôles de plausibilité et d'intégralité sont effectués en permanence par des experts indépendants.

De manière générale, une carte des sols doit répondre aux critères de qualité énumérés ci-dessous. Ces critères sont à définir de plus près selon les exigences liées à l'impact des informations pédologiques (application, échelle, etc.)³⁴ :

Précision

Exigences en matière de précision

Indépendamment de la méthode utilisée pour créer la carte, les exigences en matière de précision peuvent être réduites à un nombre restreint de conditions :

- Précision de la position :
La précision de la position concerne la représentation d'objets du monde réel, donc de sites de relevés de profils et de polygones ou de leurs limites. La délimitation postule une frontière nette, bien que la limite soit souvent caractérisée par une transition. Le contrôle en ce qui concerne l'allocation du site géographique se fait sur le terrain.
- Précision numérique de l'attribut :
Ce contrôle de la précision s'effectue moyennant une comparaison simple des valeurs récoltées sur le terrain avec les valeurs postulées par la carte des sols ou avec les valeurs modélisées, lorsque la carte a été élaborée de cette manière.

Intégralité

Intégralité du jeu de données

L'intégralité du jeu de données est surtout importante pour les utilisateurs de ces informations. Il est obligatoire de contrôler les bases de données pédologiques en ce qui concerne l'intégralité des données d'attribut. Cette règle est particulièrement importante pour les projets plus anciens n'ayant pas été soumis à un contrôle qualité.

Éviter les incohérences logiques

Éviter les incohérences logiques

Les incohérences logiques sont le fruit d'erreurs d'interprétation ou d'un travail imprécis lors du processus de cartographie. Elles se produisent également souvent au cours de la combinaison de plusieurs projets de cartographie. Elles indiquent qu'une base de données présente une précision insuffisante de la position et/ou une erreur au niveau de l'attribut. Les incohérences logiques sont particulièrement susceptibles d'avoir des répercussions négatives sur les applications en aval des données pédologiques.

Elles sont relativement faciles à contrôler moyennant des tests de plausibilité, à savoir des comparaisons par sondage avec la réalité.

Métadonnées

Qualité des métadonnées

Les métadonnées d'une carte des sols doivent fournir toutes les informations au sujet des auteurs de la carte, de la date d'élaboration, de la technique de cartographie ou de modélisation utilisée et de la gestion du contrôle qualité.

³⁴ Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

3.7.4 Exigences de qualité envers la cartographie numérique des sols

Suivant la méthode choisie, la cartographie numérique des sols diffère fondamentalement ou tout au moins très distinctement de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain.

Le papier de l'UE publié par Dobos et al.³⁵ postule qu'indépendamment de la méthode utilisée, la cartographie numérique des sols doit toujours générer des cartes pédologiques de qualité égale ou meilleure et à coûts égaux ou moindres que les cartes des sols élaborées par une méthode traditionnelle. Il est donc évident qu'il ne convient plus de comparer de telles cartes modélisées aux cartes des sols analogiques classiques, mais plutôt aux cartes des sols élaborées selon la méthode de cartographie « FAL+ » et basées sur des données d'attribut soigneusement récoltées sur le terrain ainsi que sur leurs dérivés.

Dans les articles fondamentaux de revue de McBratney et al (2003)³⁶ et de Scull et al. (2003)³⁷ au sujet du 'predictive soil mapping', cette revendication n'est toutefois pas exprimée.

Exigences de qualité envers la cartographie numérique des sols selon le rapport de l'UE

Point de vue soutenu par McBratney et al., et Scull et al.

³⁵ Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

³⁶ McBratney, A. B.; Mendonça Santos, M. L. & Minasny, B. 2003. On Digital Soil Mapping. *Geoderma*, 117, 3–52.

³⁷ Scull, P.; Franklin, J.; Chadwick, O. A. & McArthur, D. 2003. Predictive Soil Mapping: A review. *Progress in Physical Geography*, 27, 171–197

4 Aspects particuliers et précisions concernant la cartographie des sols

4.1 L'importance de l'échelle et de la résolution dans le cadre de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain

L'échelle cartographique : un critère de qualité de l'information

L'échelle, tant du levé sur le terrain que de la représentation, est la grandeur déterminant la résolution atteignable et par conséquent la précision de la position exacte de l'attribut d'une information pédologique (sous forme de carte des sols) : « L'échelle détermine, à elle seule, le contenu en informations et l'utilité pratique de cartes des sols »³⁸.

Exemples de cartes à échelles originales différentes

Les deux cartes reproduites ci-dessous servent d'exemple à ce sujet : une comparaison de deux cartes de bilan hydrique à échelles originales différentes (toutes deux élaborées moyennant la méthode « FAL ») révèle en premier lieu une résolution beaucoup plus élevée au niveau de la carte au 1:5'000 (échelle du levé : 1:2'500), conduisant à un nombre nettement plus important de polygones à caractéristiques variables.

Ainsi, pour la même surface réelle, l'unique polygone n° 400i sur la carte au 1:25'000 est différencié en 25 polygones avec 6 groupes différents de bilans hydriques sur la carte au 1:5'000.

Cette résolution significativement plus élevée, tant du point de vue de la surface que du contenu, facilite par exemple le choix des essences dans le cadre d'une planification sylvicole concrète. Celle-ci ne serait pas réalisable avec une carte au 1:25'000. Dans de nombreux domaines d'application de la production primaire (sylviculture et agriculture), l'échelle 1:5'000 est la plus couramment utilisée pour la planification. En conséquence, les contenus d'une carte au 1:5'000 peuvent sans problème et sans discontinuités être combinés avec d'autres bases de planification, souvent disponibles à la même échelle.

Ces considérations sont valables pour les cartes obtenues par délimitation des polygones.

Échelle et résolution d'impression

La résolution d'impression ou d'écran joue également un rôle important, tant en ce qui concerne le transfert de données que les travaux effectués avec ces informations :

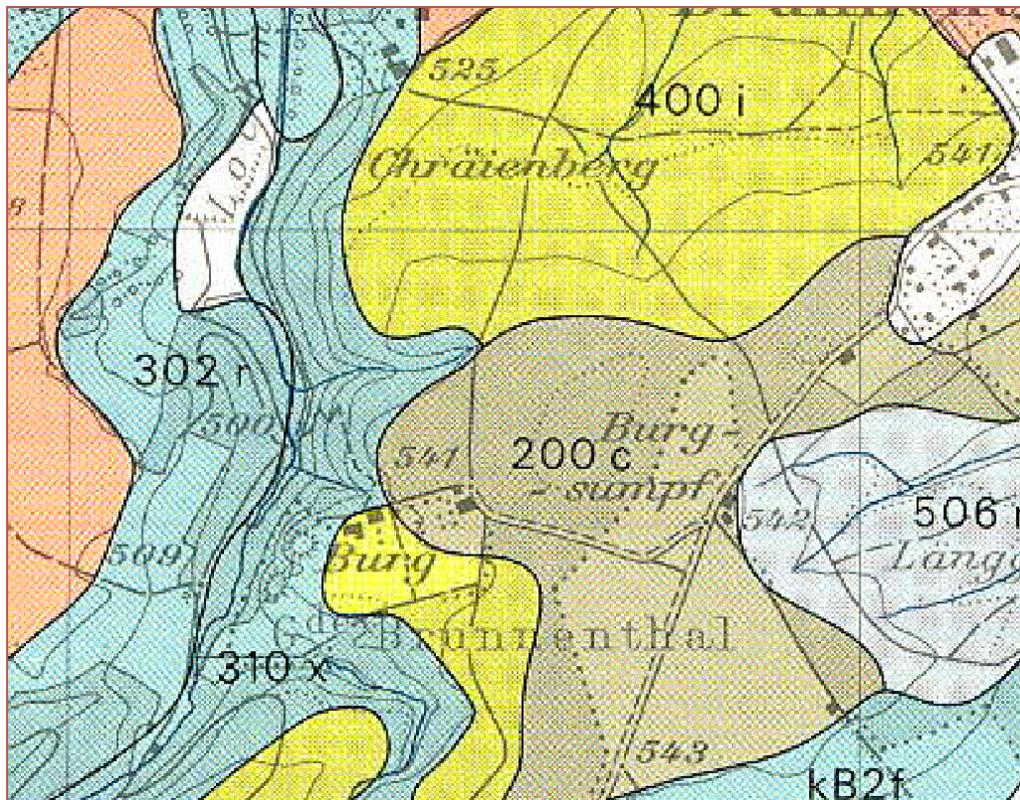
Une résolution d'impression (ou d'écran) de 100 ppp correspond à 4 points par mm. À l'échelle 1:5'000, 1 point représente 1,25 m sur le terrain, et à l'échelle 1:25'000, 6,25 m.

En supposant que 6x6 points soient nécessaires pour permettre de reconnaître des différences de couleur, l'échelle 1:5'000 est suffisante pour une résolution spatiale de 10x10 m, donc une are. L'échelle 1:25'000, en revanche, est nettement plus grossière.

³⁸ Nussbaum M., Ettl L., Çöltekin A., Suter B., Egli M. (2011): The Relevance of Scale in Soil Maps, Bulletin BGS 32, 63-70.



III. 3 : Carte du bilan hydrique à l'échelle 1:5'000
[AfU Kt. SO]



III. 4 : Carte du bilan hydrique à l'échelle 1:25'000 (agrandie au 1:5'000) [Carte des sols à l'échelle 1:25'000, feuille de Lyss]

Degré de détail au niveau des procédés statistiques

Lors de l'application de procédés statistiques mettant en relation les valeurs de mesure pédologiques et les informations spatiales concernant les facteurs de pédogenèse, le degré de détail des variables pédologiques cartographiées dépend en premier lieu de la résolution spatiale des co-variables.

4.2 Échelles standard pour différentes exigences

Les exigences auxquelles sont soumises les informations pédologiques déterminent l'échelle d'une carte.

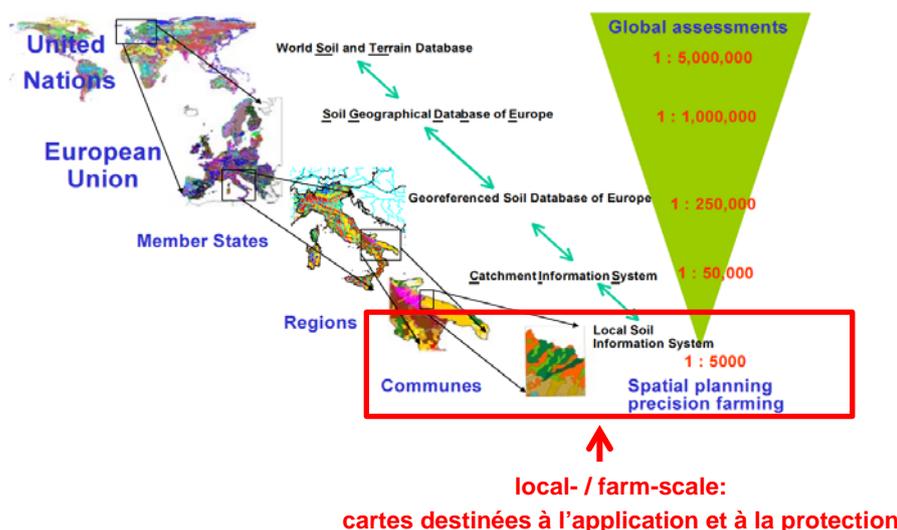
Echelles standard selon l'AEE et tailles lisibles de polygones

Le rapport³⁹ de l'AEE (Agence européenne pour l'environnement) offre à ce sujet une bonne vue d'ensemble :

- Pour les cartes synoptiques **au niveau national**, l'échelle va du 1:500'000 au 1:250'000 : la taille minimale des polygones facilement lisibles se situe entre 1 et 5 km².
- Pour la planification **à l'échelle régionale**, l'échelle s'étend du 1:50'000 au 1:25'000. La taille moyenne des polygones bien lisibles se situe entre 5 et 10 ha.
- Les cartes destinées **à l'application et à la protection** requièrent une échelle allant du 1:10'000 au 1:2'500 au maximum. La taille moyenne des polygones facilement lisibles se situe aux environs de 0,25 à 1 ha.

L'ordre de grandeur des surfaces individuelles des polygones correspond également aux recommandations du protocole de cartographie FAL et est confirmé par la pratique actuelle des relevés de terrain.

Echelle et possibilités d'application



III. 5 : Echelles adéquates de cartes destinées à différentes applications et à la protection

[Illustration issue de: „Reports of the Technical Working Groups established un-

³⁹ Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.-R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C. and Selvaradjou S-K. (2004): Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Volume V, MONITORING, EUR 21319 EN/5, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

4.3 Contenu des données

4.3.1 Données de profils

La plupart des données de profils (tant les « anciennes » feuilles de profils mises à jour avec MIGRAPROFIL que les plus récentes) sont disponibles sous forme numérique et sont accessibles par l'intermédiaire de NABODAT ou des bases de données pédologiques cantonales.

Les relevés à l'aide de la feuille de profil « FAL » V6 ou avec la version avancée V6.1, compatible avec V6 et utilisée dans le cadre de la cartographie « FAL+ », forment le fondement de ces données.

**Données de profils
dérivées de la
feuille de profil
« FAL » V6 ou V6.1**

4.3.2 Données surfaciques

En règle générale, les données surfaciques de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrains sont aujourd'hui disponibles sous forme de jeu de données pédologiques pour chaque polygone. Au niveau des cartographies des sols plus récentes (depuis environ 15 ans), les attributs pour chaque polygone sont saisis directement sur le terrain. Au niveau des données FAL plus anciennes, cet objectif est atteint grâce au traitement des données (cf. chap. 2.6). Le jeu de données pédologiques est préparé de manière à éviter en grande partie les indications concernant la classe au profit de valeurs numériques claires. Les cantons, soutenus par le centre de service NABODAT, remanient en continue les données analogiques de l'ancienne cartographie FAL, en se basant sur le modèle des données surfaciques implémenté. Cette manière de procéder facilite une future utilisation de ces précieuses « anciennes » données, que ce soit pour la représentation de caractéristiques individuelles d'attributs ou pour le calcul de cartes fonctionnelles.

**Jeu de données
pédologiques des
données surfa-
ciques**

Attribut	Format
Numéro de commune OFS	numérique, à 4 chiffres
Numéro de polygone	numérique
Groupe du bilan hydrique	texte
Géologie	texte
Type de sol	texte
Sous-type 1	texte
Sous-type 2	texte
Sous-type 3	texte
Forme du terrain	texte
Pierrosité du sol de surface	numérique
Pierrosité du sous-sol	numérique
Classe granulométrique sol de surface	numérique
Classe granulométrique sous-sol	numérique
Teneur en argile % sol de surface	numérique
Teneur en argile % sous-sol	numérique
Teneur en limon % sol de surface	numérique
Teneur en limon % sous-sol	numérique
limite du carbonate [cm]	alpha- numérique

**Jeu de données
d'attribut par poly-
gone**

Classe de teneur en carbonate sol de surface	numérique
Classe de teneur en carbonate sous-sol	numérique
pH du sol de surface d'après Hellige	numérique
pH du sous-sol d'après Hellige	numérique
Epaisseur de l'horizon Ah [cm]	numérique
Teneur en humus % de l'horizon Ah	numérique
Forme de l'humus en forêt	texte
Epaisseur de l'horizon Ahh [cm]	numérique
Structure du sol de surface	texte
Taille des agrégats sol de surface	texte
Structure et forme des agrégats sous-sol	texte
Taille des agrégats sous-sol	texte
Profondeur physiologique	numérique
Indice de valeur agronomique, valeur de profil	numérique
Remarques	texte

Tabl. 2 : Jeu de données standard décrivant les attributs d'un polygone

[Tiré de « Projekthandbuch zur Bodenkartierung des Kantons Solothurn », AfU Kt. SO]

Il ressort de ce tableau que plus de 30 attributs par polygone sont intégrés dans la base de données surfaciques des sols.

4.3.3 Délimitation des polygones

Les limites polygonales sous forme de données vectorielles

Après la numérisation, les limites polygonales déterminées sur le terrain sur la base de la densité des sondages effectués sont disponibles sous forme de données vectorielles (la délimitation résulte de la modification d'au moins une valeur d'attribut).

4.3.4 Synthèse

Carte numérique des sols

Les données numériques de profil et de surface (attributs polygonaux et limites polygonales vectorisées) peuvent être représentées sous forme de carte numérique des sols, et ceci en différentes versions suivant le contenu désiré (cf. chap. 5 à ce sujet).

4.4 Réflexions concernant l'utilisation des données de base

Exigences de qualité envers les données de base

Surtout la première phase d'un projet de cartographie nécessite des données de base en grande quantité et de qualité fiable. Cette première étape conduit à la production d'une carte conceptuelle qui servira ensuite de base pour la cartographie en soi. De tels documents risquent toutefois de ne pas répondre aux exigences de qualité (que ce soit au niveau de l'échelle, de la résolution, du contenu en informations ou de la précision de la position) posées envers la carte des sols basée sur ces informations. Il convient par conséquent de ne pas les utiliser ou alors de s'en servir avec la prudence requise.

Deux exemples de données de base souvent utilisées et régulièrement sujettes à discussion sont présentés ci-dessous :

4.4.1 Informations issues de cartes géologiques

Il semble évident que les cartes géologiques servent de base pour la cartographie des sols, puisqu'elles fournissent des informations concernant la roche-mère, un facteur décisif en matière de pédogenèse.

En Suisse, les feuilles de cartes géologiques, pour autant qu'elles existent, ne sont disponibles qu'au 1:25'000. En outre, leur contenu ne se concentre pas en premier lieu sur la « couche supérieure » du sol. Cette couverture, plutôt insignifiante d'un point de vue géologique, est le substrat décisif en matière de pédogenèse.

Le problème de la « couche supérieure » dans les cartes géologiques

Dans le contexte des informations pédologiques requises pour les cartes d'occupation des sols au 1:5'000 (avec une résolution des informations supplémentaires à la même échelle), une carte de base au 1:25'000 présente non seulement une échelle trop petite, mais aussi des informations qu'indirectes concernant le substrat formateur des sols qui, dans le pire des cas, ne sont pas liées causalement à la pédogenèse.

Echelle et résolution des informations géologiques

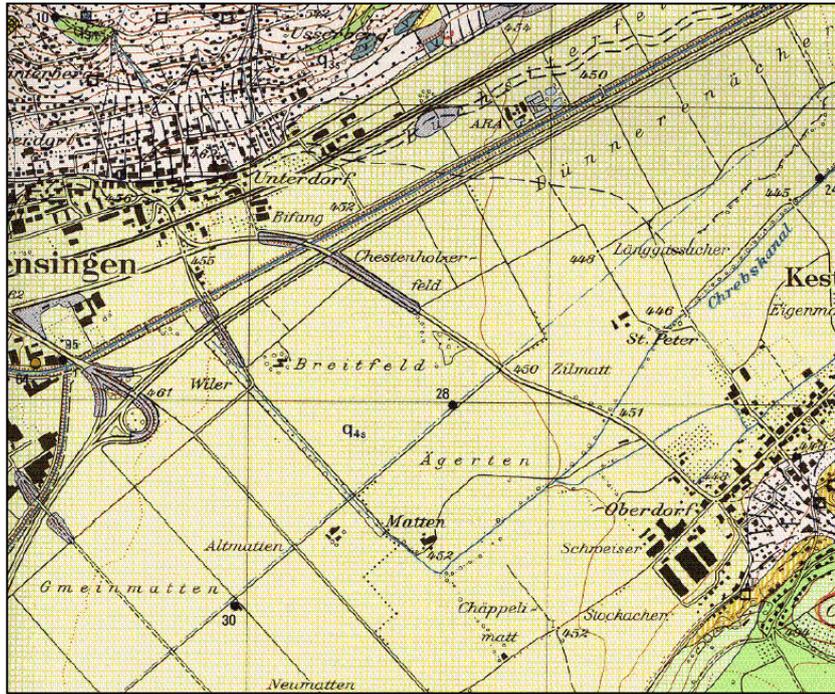
L'interprétation des données issues de cartes géologiques s'étend parfois au classement de types de sol (texture) sur la base des classes stratigraphiques de types de roches et des classes de roches pétrographiques qui en découlent. En règle générale, la qualité des informations ainsi obtenue (sauf p.ex. dans le cas de sols de loess) ne suffit pas aux exigences d'une carte détaillée à grande échelle⁴⁰.

Danger d'une surinterprétation des données géologiques de base

Un exemple illustrant le décalage au niveau de la densité des informations est présenté ci-dessous moyennant deux cartes du même territoire, dont une issue de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000 et une résultant d'une carte des sols basée sur des relevés de terrain et reproduite à l'échelle originale au 1:5'000 : dans la carte géologique, la plaine de la rivière Dünneren se présente sous forme de surface homogène et non différenciée (q_{4S} = gravier) datant de la dernière glaciation (Ill. 6).

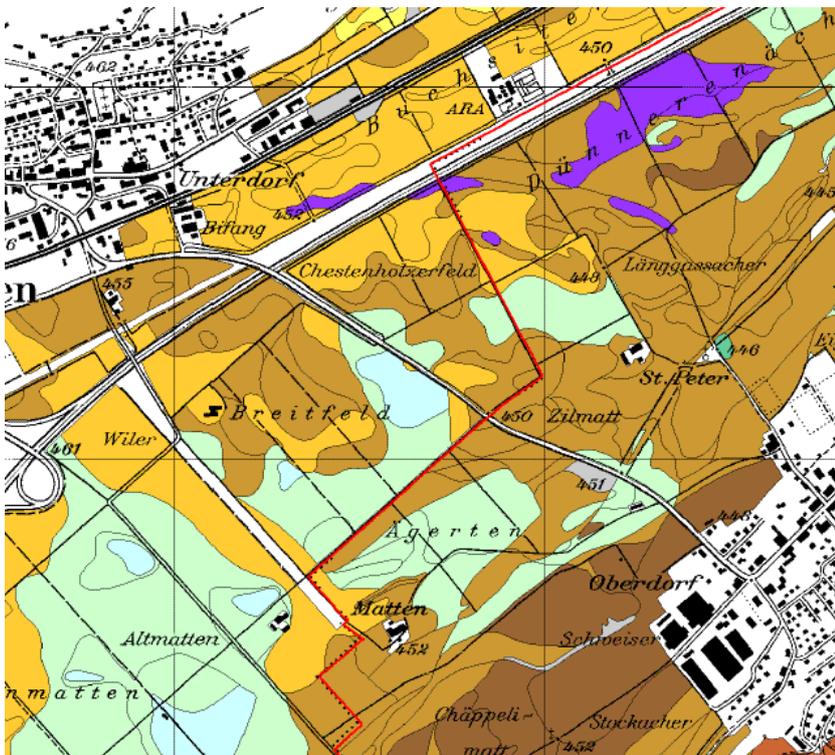
Comparaison entre l'Atlas géologique de la Suisse et les cartes du sol au 1:5'000

⁴⁰ Herbst P., Mosimann T. (2008): Prognose der Wasserspeicherfähigkeit von Waldböden in der Nordwestschweiz. Geosynthesis online 04. Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover, D-30167 Hannover.



Atlas géologique
au 1:25'000

III. 6 : Extrait de carte de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000, feuille 113



Carte des types de
sols au 1:5'000

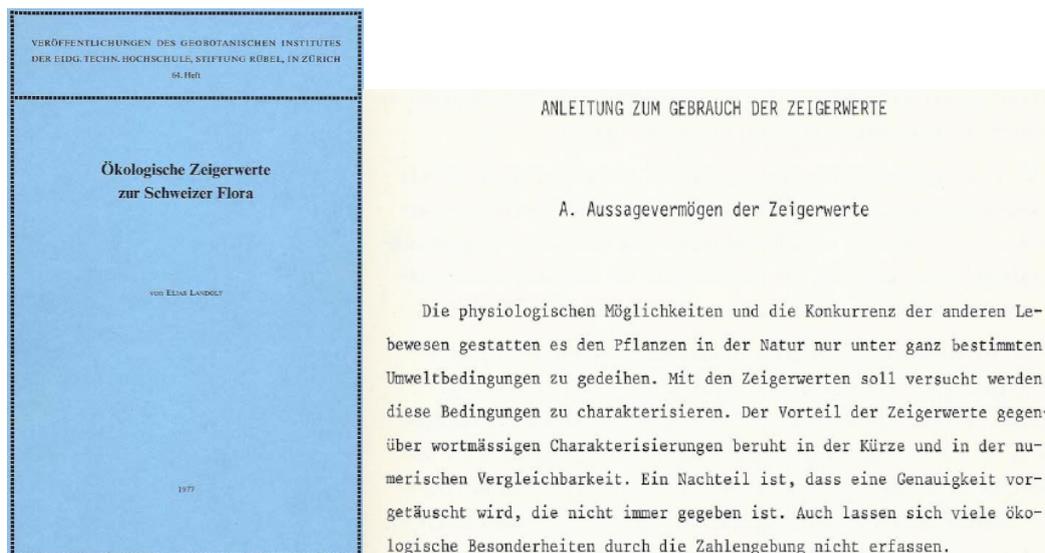
III. 7 : Extrait d'une carte des types de sols au 1:5'000
[AfU Kt. SO]

La carte des types de sols (Ill. 7), en revanche, présente des propriétés pédologiques fortement différenciées, à savoir sept types de sols différents allant d'un sol brun gleyifié à un sol brun calcaire en passant par un pseudogley.

4.4.2 Intégration des informations phyto-sociologiques

La cartographie des sols forestiers a souvent recours, lorsqu'elles sont disponibles, à des cartographies phyto-sociologiques et des associations forestières s'appuyant par exemple sur Ellenberg et Klötzli⁴¹, ainsi que sur les fondements établis sur la base de cette publication⁴². Du fait que les espèces indicatrices ne colonisent pour la plupart que le sol de surface, l'impact des valeurs indicatrices est limité. Les informations concernant le sous-sol sont la plupart du temps insatisfaisantes. Il a à maintes reprises été tenté d'utiliser les valeurs d'humidité et de réaction en tant que prédicteurs dans le cadre de modélisations. Elias Landolt, auteur de la publication « Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora »⁴³, juge la signification de ces valeurs indicatrices comme suit : « ...Un désavantage est que ces valeurs simulent une précision qui n'est pas toujours donnée. En outre, de nombreuses particularités écologiques ne peuvent être saisies sous forme de valeurs ».

Limites de la valeur des informations phyto-sociologiques



Ill. 8 : Citation concernant la signification des valeurs indicatrices de plantes [Source : Landolt E. (1977) : Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora].

⁴¹ Ellenberg H., Klötzli F. (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Schweizerische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bd. 48, Heft 4. Birmensdorf.

⁴² A titre d'exemple : Die Waldstandorte des Kantons Aargau. BURGER + STOCKER. Finanzdepartement des Kantons Aargau, Abteilung Wald (éditeur). Aarau. 2002.

⁴³ Landolt E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 64. Heft. Zürich.

Valeurs indicatrices phytosociologiques en tant que prédicteurs

Mosimann et Herbst, qui, dans leur étude intitulée « Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz » (2013)⁴⁴, se sont entre autres servis de telles valeurs indicatrices phyto-sociologiques, confirment la signification limitée des informations qu'elles contiennent : « ...Au niveau des associations phyto-sociologiques, les propriétés indicatrices sont, conformément aux prévisions, meilleures dans les zones périphériques de l'écogramme ('très sec/sec' et 'mouillé' pour les valeurs d'humidité, ainsi que 'basique' et 'légèrement acide/acide' pour les valeurs de réaction). Dans les niveaux 'légèrement basiques' et 'frais', en revanche, il n'y avait en partie pratiquement aucun lien avec le pH et le degré d'engorgement ou de capacité de rétention en eau du sol. »

Les informations phyto-sociologiques sous forme d'associations forestières sont donc surtout utiles durant la phase de développement de la carte conceptuelle pour la cartographie des sols. Elles fournissent également des indications concernant les formes d'humus variables sur des surfaces restreintes et les propriétés des sols en surface. Les renseignements au sujet de la troisième dimension sont toutefois peu précis et incertains.

Ces informations sont donc peu indiquées en tant que données de base pour l'élaboration de cartes fonctionnelles des sols (cf. chap. 5.3).

Valeurs phytosociologiques en tant que co-variables potentielles

Il est néanmoins raisonnable de déterminer, à quel point les informations phytosociologiques sont à même de servir de co-variables pour la prédiction spatiale des propriétés pédologiques. Seule une analyse statistique des données peut fournir une réponse à cette question.

4.5 Fonction de cartes des sols basées sur des relevés de terrains

Mise à disposition d'informations de complexités différentes

La performance des cartographies des sols modernes, dotées de jeux de données importants, dépend en premier lieu de la mise à disposition d'informations de complexités différentes pour une description précise du sol en tant que composante de l'écosystème terrestre. La carte en soi (sur papier ou à l'écran) est une grandeur dérivée de propriétés, marques distinctives et caractéristiques de l'objet lui-même, recueillies en laboratoire ou moyennant d'autres outils. Ces informations sont classées et mises à disposition dans des banques de données.

Il est également possible de développer des supports d'informations secondaires dérivées de ces données (carte d'occupation des sols ou d'utilisateurs).

Il est ainsi possible de décrire de manière optimale les fonctions pédologiques classiques (fonction écologique, régulatrice, de tampon, de filtre, d'archive et d'exploitation) et de développer des directives servant à leur protection.

La valeur d'une cartographie des sols ne réside donc pas en premier lieu dans le produit final sous forme de carte, mais plutôt dans les informations pédologiques

⁴⁴ Mosimann T., Herbst P. (2013): Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. Schweiz Z. für Forstwesen. Bd. 164 (1), 10-22.

basées sur le savoir intégral des spécialistes de la cartographie des sols et sur les données issues de recherches effectuées en laboratoire.

4.6 Valeur du contenu des cartes des sols

La valeur des cartes des sols en ce qui concerne les informations qu'elles fournissent dépend fortement de la qualité de la collecte des caractéristiques et de leur résolution (attributs et attribution tridimensionnelle du site).

De manière générale, la valeur du contenu de cartographies des sols basées sur des polygones et reposant sur des relevés de terrain ne peut dépasser la valeur des informations ayant servi à leur développement. Cela concerne notamment les échelles respectives des sources d'informations supplémentaires utilisées dans le processus.

Grâce à la disponibilité de nouvelles co-variables (telles que les modèles de terrain numériques à haute résolution ou les images hyper-spectrales de sols non végétalisés), il est possible d'effectuer, dans le cadre de travaux avec des méthodes statistiques, une interpolation spatiale plus précise des données de profils récoltées sur le terrain ; ceci parce que les informations concernant les facteurs déterminants la pédogenèse sont plus précises.

Moyennant la modélisation statistique et grâce aux nouvelles co-variables, il est ainsi possible de valoriser les anciennes données récoltées sur le terrain.

Qualité et valeur de la collecte de données...

...pour la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain

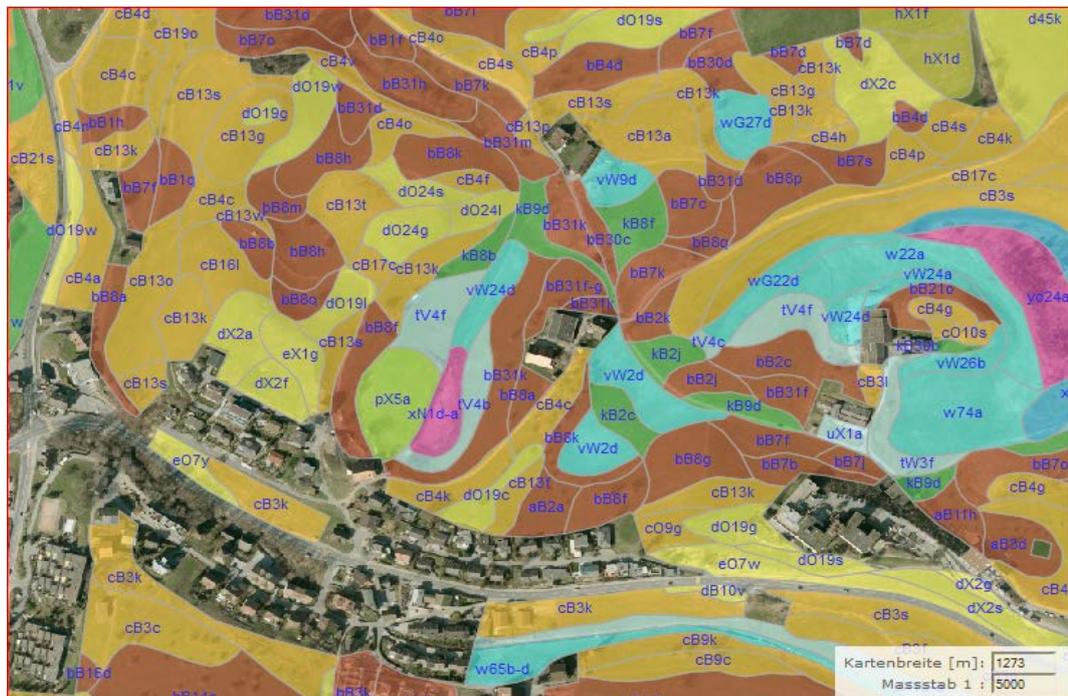
...pour la cartographie modélisée des sols

5 Cartes des sols et leurs applications

5.1 Cartes des sols « classiques »

Moyennant un code à quatre éléments, la représentation classique selon « FAL Reckenholz » d'une carte des sols au 1:5'000 fournit des informations concernant le type de sol, le bilan hydrique en combinaison avec la profondeur physiologique ainsi que le relief et la pente/déclivité (Ill. 9).

Carte des sols classique



Ill. 9 : Extrait d'une carte des sols classique au 1:5'000

[Tiré de : Bodenkarte Kanton Zug, <http://www.zugmap.ch/zugmap/BM3.asp>]

Trois cartes standard

Depuis le début des activités de cartographie des sols, des cartes standard analogiques ont été élaborées sur la base du catalogue de données issues de la cartographie « FAL » basée sur des relevés de terrain ; à savoir une carte du bilan hydrique, une carte d'aptitude et une carte de risque de pertes de nutriments par infiltration et ruissellement. L'exemple ci-dessus révèle que bon nombre de ces cartes ont été digitalisées au cours des dernières années.

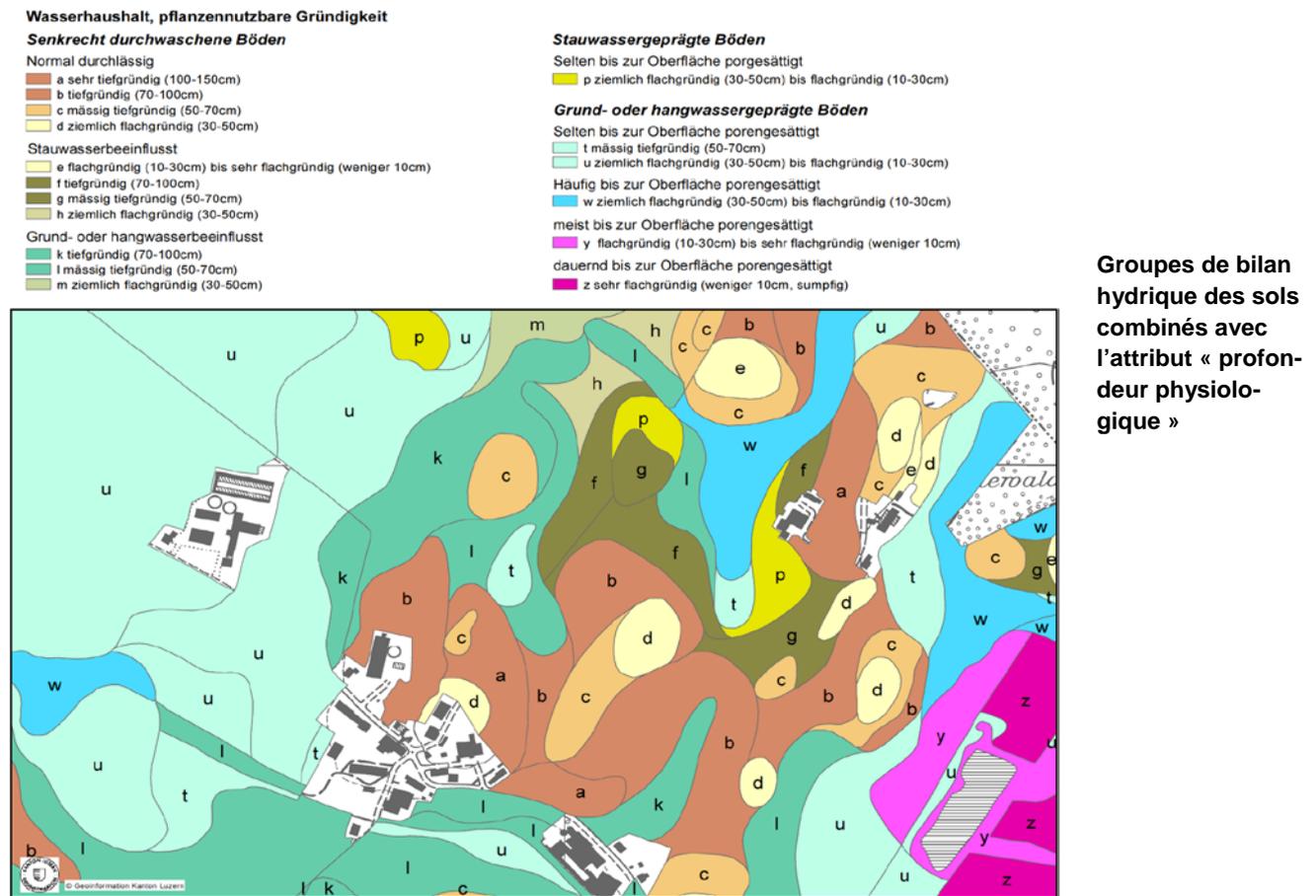
5.2 Cartes d'attributs des sols

Cartes d'attributs

Le relevé par polygone des données représentatives d'attribut, tel qu'il s'effectue dans le cadre de la méthode de cartographie « FAL+ », produit un jeu de données complet. Celui-ci permet d'élaborer, pour un terrain concret et au gré des besoins, du matériel d'information (« cartes ») concernant des attributs uniques tels que « pH du sol de surface », « type de sol du sous-sol », « groupes de bilan hydrique », « profondeur physiologique », etc. L'élaboration de tels ouvrages

cartographiques descriptifs est simple et se fait par accès direct à la base de données contenant les valeurs d'attribut des polygones.

A titre d'exemple, une représentation des groupes de bilan hydrique en combinaison avec l'attribut « profondeur physiologique » au 1:5'000 :



Groupes de bilan hydrique des sols combinés avec l'attribut « profondeur physiologique »

III. 10 : Groupes de bilan hydrique des sols combinés avec l'attribut « profondeur physiologique »

[uwe Kt. LU, Abt. Boden und Abfall]

5.3 Cartes fonctionnelles des sols

Dérivée des cartes fonctionnelles des sols

Les cartes fonctionnelles⁴⁵ des sols (carte d'occupation des sols), ou les « functional soil maps » en anglais, répondent toujours à un

⁴⁵ Synonyme de **fonctionnel** : utile, adapté à une fonction, servant la cause en vue de la fonction

Les **cartes fonctionnelles des sols**, qui servent toujours une cause définie, sont à distinguer...des **cartes des fonctions pédologiques**. Celles-ci se rapportent à des prestations fournies par le sol en vertu de ses propriétés et en tant que partie intégrante de l'écosystème total pour l'homme et l'environnement. Au sens classique du terme, il existe trois catégories de fonctions des sols : espace vital, exploitation et archive ; une subdivision plus précise en 6 fonctions des sols, telle que celle définie par l'OFEV en 2011, est également possible : production, régulation, habitat, support, source de matières premières, archive.

besoin précis et peuvent être classées en fonction de leur dérivée:

- cartes à dérivation directe
- cartes élaborées moyennant des algorithmes simples
- informations pédologiques (« cartes ») calculées moyennant d'importantes règles de connexion (fonctions de pédo-transfert).

Cartes des sols et types de contenus

Il est également possible de grouper ces cartes des sols en fonction du message qu'elles transmettent, à savoir

- les cartes d'application (d'occupation) des sols
- les cartes des dangers (des menaces), ainsi que
- les cartes d'occupation spécifiques à un sol.

Ce groupement répond mieux aux besoins de la plupart des utilisateurs de cartes en rapport avec leurs activités d'exploitation et de protection des sols.

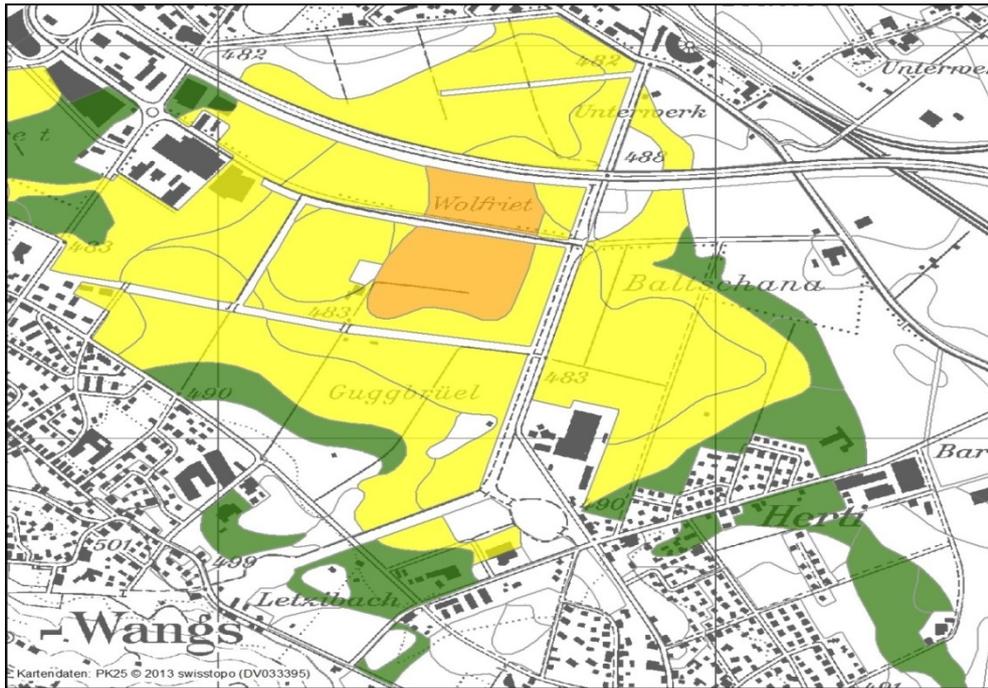
5.3.1 Cartes d'application

Cartes d'attributs adaptées à l'utilisation

Ces cartes fonctionnelles au sens strict du terme sont des cartes au 1:5000 fortement orientées vers l'exploitation des sols. Elles servent avant tout de base de planification et de travail, parfois simplifiées ou combinées, pour les personnes travaillant directement avec le sol, notamment pour les agriculteurs et les sylviculteurs.

A titre d'exemple, la carte d'application ci-dessous (Ill. 12) indique le besoin en chaux dans le sol de surface pour une stabilisation de l'approvisionnement optimal en éléments nutritifs, basé sur le degré d'acidité actuel du sol.

Valeur pH et besoin de chaulage



Classes de pH dans le sol de surface et besoins de chaulage correspondants

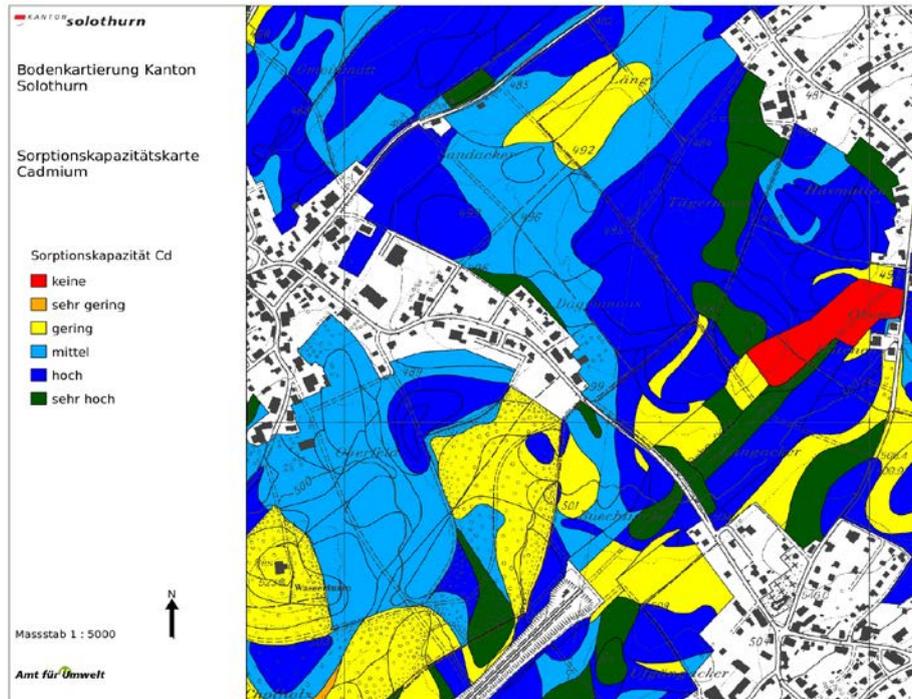
<ul style="list-style-type: none"> Fortement acide : Acide : Faiblement acide : Neutre : Alcalin : 	<ul style="list-style-type: none"> lessivage important des éléments nutritifs ; chaulage nécessaire lessivage des éléments nutritifs ; chaulage nécessaire proportions optimales des éléments nutritifs ; chaulage de maintien conseillé proportions optimales des éléments nutritifs ; chaulage de maintien conseillé pas de chaulage
--	---

*Ill. 11 : Représentation de la valeur pH dans le sol de surface et du besoin en calcaire correspondant
[Amt für Umwelt und Energie Kt. SG]*

Moyennant des algorithmes simples ou parfois quelque peu plus complexes, il est possible d'élaborer des cartes fonctionnelles des sols (« functional soil maps ») en tant que cartes d'application pour des champs spécifiques allant au-delà de la représentation de propriétés primaires des sols. A titre d'exemple servent les cartes de capacité de sorption en matière de contaminants critiques. Elles sont basées sur des tableaux (cf. la fiche technique du DVWK⁴⁶) permettant de calculer la force de liaison relative par polygone en fonction du degré d'acidité, de la teneur en humus et du type de sol.

L'illustration suivante représente une carte de capacité de sorption pour le cadmium. Elle peut notamment servir de base pour déterminer un risque éventuel pour les eaux souterraines ou pour évaluer le danger potentiel de denrées alimentaires cultivées sur des sols contaminés.

⁴⁶ DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1988): Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK Merkblätter 212.



Capacité de sorption du sol pour le cadmium

III. 12 : Capacité de sorption du sol pour le cadmium

[AfU Kt. SO]

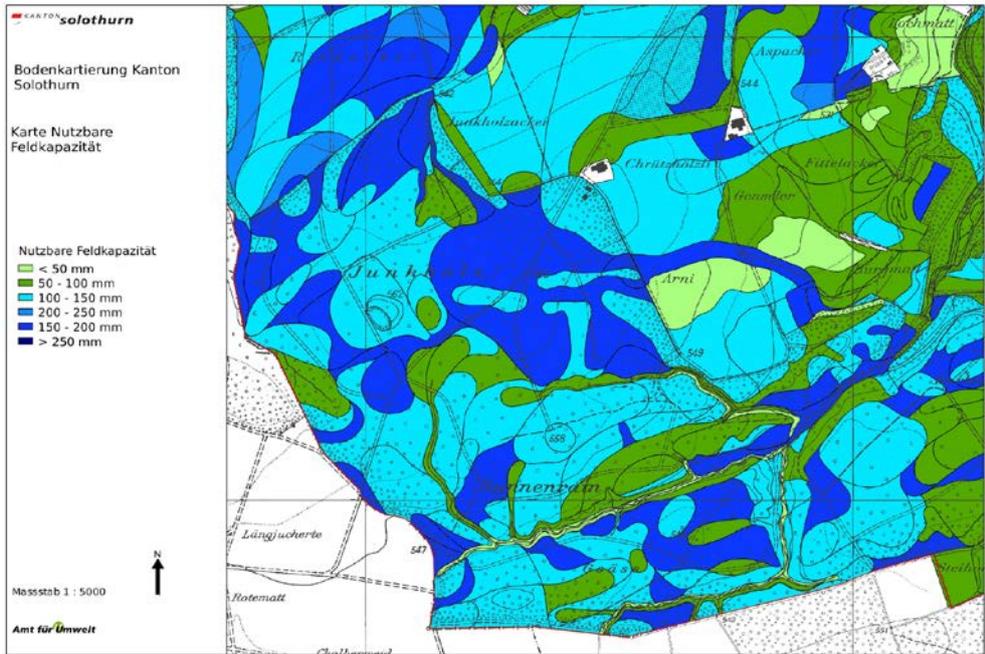
De la même manière, il est possible d'élaborer des cartes pour la capacité au champ utile ou le bilan hydrique du sol.

La capacité au champ en tant que grandeur importante pour l'évaluation du bilan hydrique

Pour la description du bilan hydrique et du potentiel de rétention d'eau du sol, la capacité au champ dans la zone racinaire effective [mm] est une grandeur aisément compréhensible et facile à appliquer.

Ces documents gagneront encore en importance dans le contexte des changements climatiques attendus et des modifications du bilan hydrique du sol qui y seront liées. Les réserves potentielles en eau dans le sol sont en effet une des valeurs décisives pour la conservation de la croissance végétale, que ce soit en agriculture ou surtout en sylviculture (cf. également le chap. 5.4).

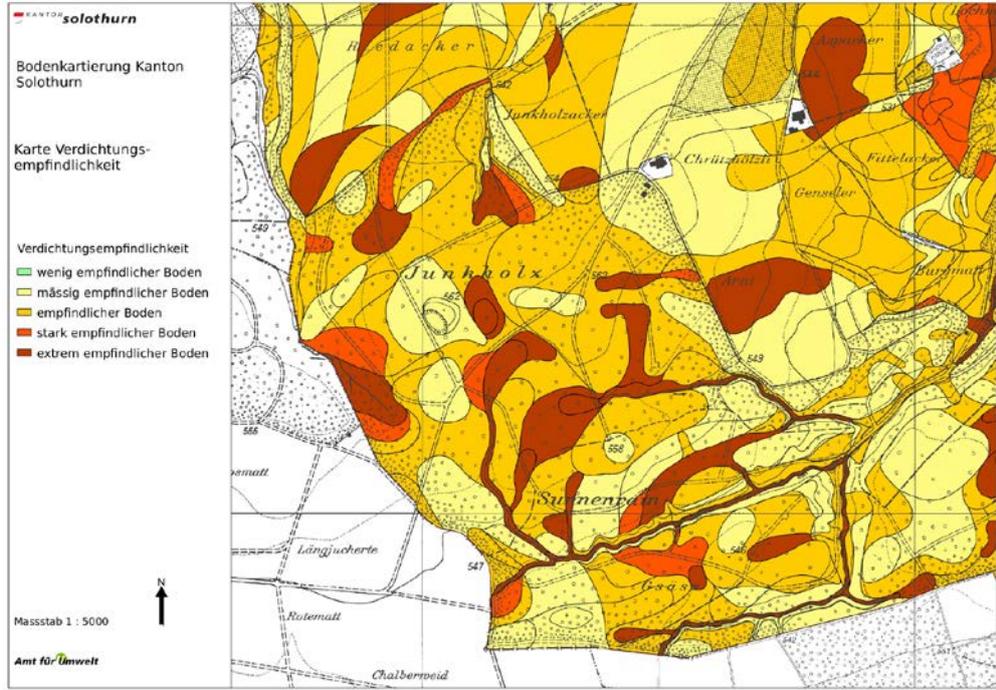
Capacité au champ dans la zone racinaire effective



III. 13 : Capacité au champ classée en intervalles de classe de 50 mm [AfU Kt. SO]

5.3.2 Cartes des risques

Les cartes des dangers (threat maps) sont des cartes fonctionnelles des sols traitant avant tout de thèmes touchant aux menaces et à la protection.



Carte de sensibilité à la compaction

III. 14 : Carte de sensibilité à la compaction pour les sols forestiers [AfU Kt. SO]

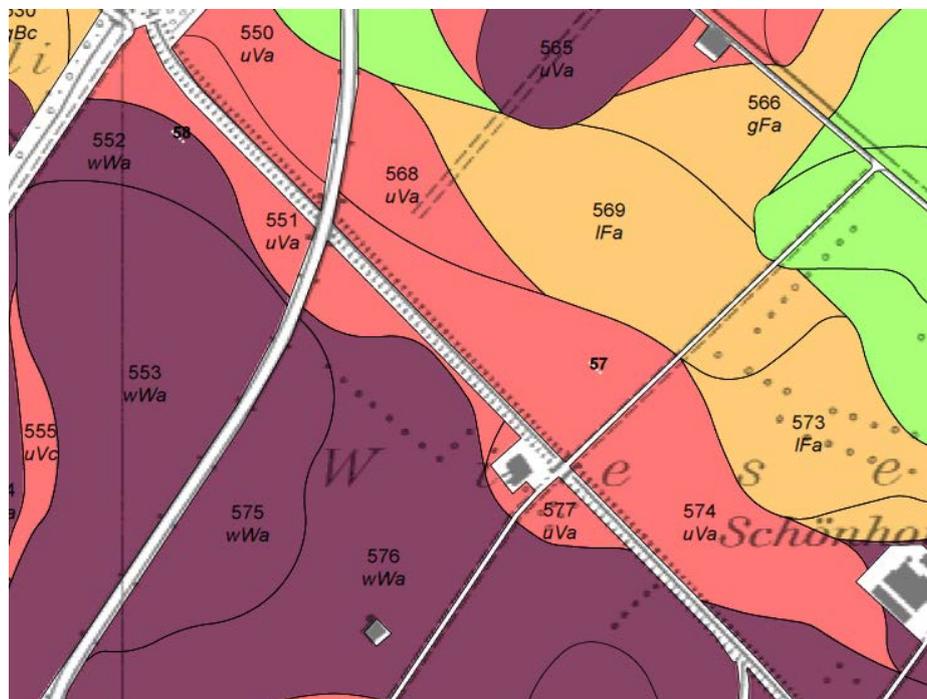
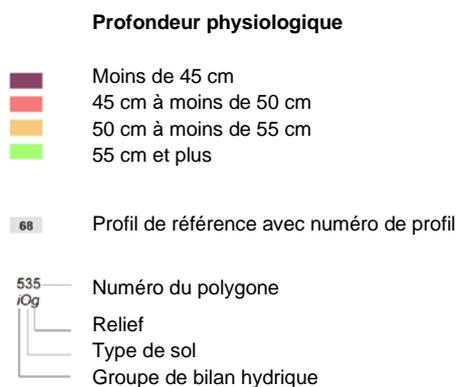
Il s'agit par exemple de cartes des risques de compaction ou (en combinaison avec une règle de connexion de cartes des risques d'érosion).

L'illustration 14 représente un exemple de carte de sensibilité à la compaction pour des sols forestiers. Il s'agit d'une base importante de planification pour la protection préventive des sols forestiers contre la compaction irréversible due à l'utilisation de véhicules dans le cadre de l'exploitation forestière.

5.3.3 Cartes pédologiques d'utilisation (cartes des surfaces d'assolement, sda)

Cartes de délimitation des surfaces d'assolement pour l'aménagement du territoire

Une carte d'utilisation à la fois pertinente à l'aménagement du territoire et liée tout particulièrement à la pédologie est celle décrivant la délimitation des surfaces d'assolement dans les zones agricoles.



Profondeur physiologique (épaisseur) pour la délimitation des surfaces d'assolement

Ill. 15 : Carte d'attribut épaisseur 'Profondeur physiologique' servant de base pour la délimitation de surfaces d'assolement

[Abt. Landwirtschaft, Kt. GL]

Des critères nouveaux ou élargis, servant de directive pour le traitement de cas spéciaux et d'éventuelles nouvelles délimitations ou évaluation de la qualité des surfaces d'assolement, ont été définis grâce à l'aide à la mise en œuvre « Plan sectoriel des surfaces d'assolement » publiée en 2006⁴⁷. Parmi d'autres, l'attribut « épaisseur » (définition d'après le chapitre 9 de cartographie « FAL »), avec une valeur requise de >50 cm pour qu'un sol soit reconnu comme surface d'assolement, joue ainsi un rôle très important.

Cette question s'est posée dans le canton de Glaris en rapport avec la mise en œuvre du plan sectoriel de la Confédération. Celui-ci prévoit 200 ha de surfaces d'assolement pour le canton de Glaris.

Dans le cadre d'un projet de cartographie des sols⁴⁸ ayant duré 5 ans, une attention particulière a été accordée à cet attribut : autour de la valeur cible de 50 cm de profondeur physiologique, de très petits intervalles de classe, de 5 cm chacun, ont été dressés dans le but de faciliter d'atteindre une évaluation exacte. Ainsi, il a été possible de prouver clairement que les exigences à ce sujet avaient été remplies correctement (cf. illustration 15).

5.4 Réflexions concernant l'utilisation de cartes fonctionnelles des sols

Les cartes fonctionnelles des sols répondent de manière optimale aux exigences auxquelles sont soumises les sources d'informations orientées vers l'application à l'échelle dite « farm-/local scale », c'est-à-dire à une échelle de relevé et de représentation allant du 1:2'500 au 1:5'000.

Cela conduit à une résolution offrant à l'utilisateur (agriculture, sylviculture, protection, aménagement du territoire) une base suffisamment précise pour la prise de décisions.

Au niveau des cartes présentant une échelle moyenne à petite (allant du 1:10'000 au 1:25'000 et au-delà), l'information ne se réfère plus à la parcelle. En conséquence, la qualité de ces informations est amoindrie, non seulement pour l'exploitation mais aussi pour d'autres fins d'utilisation et de protection. En revanche, ces sources d'information sont susceptibles d'être très utiles pour des questions d'ordre supérieur.

5.5 Carte des sols servant de données de base pour des problématiques apparentées

⁴⁷ ARE Office fédéral du développement territorial (2006) : Plan sectoriel des surfaces d'assolement SDA. Aide à la mise en œuvre.

⁴⁸ Bodenkartierung Kanton Glarus 2006 – 2010 (2010). Erfassung der potenziellen Fruchtfolgeflächen FFF. Schlussbericht. Kanton Glarus, Departement Volkswirtschaft und Inneres, Abt. Landwirtschaft. Glarus.

Cartes des sols pour problématiques apparentées

De plus en plus souvent, des données pédologiques extensives s'avèrent indispensables à des utilisations qui, à première vue, ne traitent pas directement du sol ; par exemple des applications dans le cadre de problématiques liées à l'écoulement des eaux et au régime hydrique régional ou, sous l'influence des caractéristiques climatiques changeantes, liées aux besoins agricoles en irrigation ou au choix des essences dans le domaine forestier.

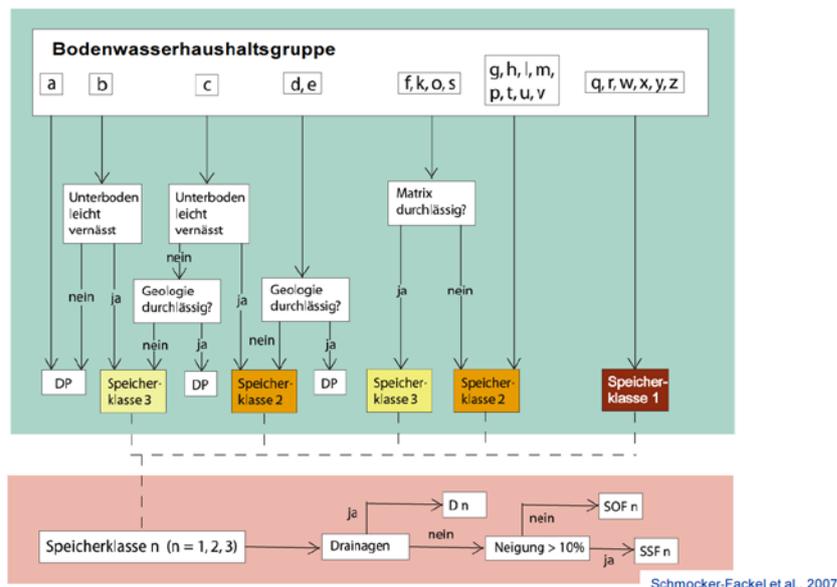
Quelques exemples de telles problématiques sont décrits ci-après :

5.5.1 Prédiction de processus d'écoulement :

Cartes des processus d'écoulement pour l'évaluation des débits de crue

En rapport avec les questions de plus en plus au centre de l'intérêt concernant l'évaluation des débits de crue en fonction des volumes et intensités variables de précipitations, les capacités d'infiltration et de rétention en eau jouent un rôle important. Elles influencent souvent de manière prononcée les débits de crue sur une surface restreinte. Les processus modernes d'évaluation des débits de crue prennent donc en compte la distribution spatiale du comportement d'infiltration, de rétention et de drainage des sols et du sous-sol. Des cartes représentant les processus dominants d'écoulement sont élaborées sur la base de cartes pédologiques et d'utilisation des sols ainsi que sur des cartes géologiques et topographiques (Scherrer, 2006⁴⁹; Schmocker-Fackel et al., 2007⁵⁰). Elles indiquent, en haute résolution spatiale, les zones où se produisent un écoulement rapide, retardé ou fortement retardé et permettent ainsi d'évaluer la réaction d'écoulement d'un bassin versant entier.

Recueil de normes pour l'élaboration de cartes des processus d'écoulement pour des précipitations d'intensité faible à moyenne



⁴⁹ Scherrer, S. (2006). Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz.

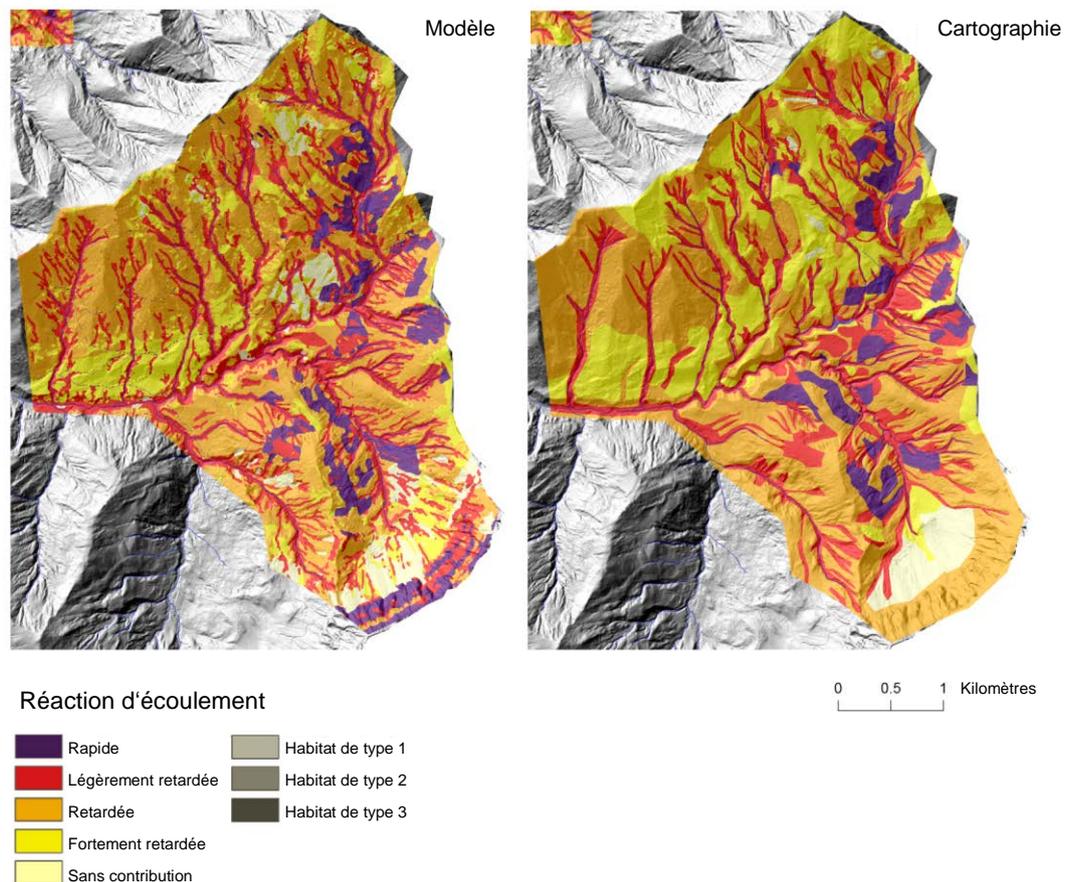
⁵⁰ Schmocker-Fackel, P., Naef, F., Scherrer, S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences. <http://hydrol-earth-syst-sci.net/11/891/2007/hess-11-891-2007.pdf>.

III. 16: Recueil de normes pour l'élaboration de cartes des processus d'écoulement

[Schmocker-Fackel et al., 2007]

Les groupes de bilan hydrique des sols sont un paramètre important basé sur la cartographie des sols (III. 16). Outre les conditions hydrauliques à attendre (normalement perméable, influencée par des eaux de retenue, influencée par des eaux souterraines ou de pente, façonnée par de l'eau stagnante, des nappes phréatiques ou par l'eau de ruissellement), ils fournissent également des renseignements concernant la position d'éventuelles couches peu perméables.

Lorsqu'il n'existe pas de cartes des sols détaillées pour une région donnée, les groupes de bilan hydrique des sols sont dérivés moyennant un modèle pronostique des sols spécialement développé à cet effet (Margreth et al., 2010⁵¹), cf. ill. 17.



III. 17: Une carte des processus d'écoulement élaborée automatiquement moyennant un modèle pronostique des sols (à gauche) en comparaison avec une carte élaborée sur la base de relevés de terrain (à droite) pour une région test aux environs de Hilferen, dans la partie supérieure du bassin versant de l'Ilfis (canton de Lucerne).

⁵¹

gebieten. Amt für Abfall, Energie, Wasser und Luft des Kantons Zürich (AWEL).

Utilisation de modèles pronostiques des sols dans des régions sans cartes des sols

Le procédé est tributaire de géodonnées disponibles sous forme numérique (p.ex. MNT-MO, cartes géologiques, le jeu de données Vector25, plan d'ensemble, réseau hydrographique, etc.) et exploite la relation entre la pédogenèse, la roche-mère, la couverture végétale, les paramètres topographiques tels que la pente et la forme du terrain, l'exposition et les caractéristiques hydrologiques, ainsi que la densité du réseau d'évacuation des eaux. Le recueil de normes utilisé a été développé par le biais d'un processus de calibrage complexe en se basant sur plusieurs régions test d'une surface totale de 40 km² avec des cartes détaillées des sols au 1:5'000.

Applicabilité des modèles pronostiques des sols

La qualité des groupes de bilan hydrique des sols dérivés automatiquement dépend fortement de la résolution et de la qualité des données utilisées ainsi que de la structure géologique et du type de paysage propre à une région. Il convient donc d'examiner soigneusement ces cartes lors d'une utilisation dans le cadre d'une estimation de débits de crue.

Les produits dérivés de modèles pronostiques des sols peuvent servir de cartes indicatives des types de sol. Celles-ci ne présentent toutefois pas la qualité de cartes détaillées des sols. Les données dérivées de modèles pronostiques des sols ne sont pas adaptées aux applications nécessitant des informations pédologiques liées au parcellaire (protection des sols sur les chantiers, délimitation des surfaces d'assolement, estimation de terres).

5.5.2 Projets d'irrigation et risques de glissements de terrain

Cartes des sols pour projets d'irrigation et risques de glissements de terrain

Concernant les questions orientées entièrement vers la pratique, il convient de mentionner, à titre d'exemple, le canton des Grisons, où des cartes des sols servent actuellement de base pour la planification de projets d'irrigation (Sent, Ftan, Domleschg). Elles sont également utilisées pour la planification de projets de construction, à savoir le projet de centrale électrique du Lago Bianco dans le Val Poschiavo. Les évaluations concernant les glissements de sols peu profonds dans la Surselva, effectuées dans le cadre du projet pilote « Catch Risk », ont également fait appel à des informations issues de cartes des sols.

5.5.3 Choix des espèces d'arbres sous le signe du changement climatique

Cartes indicatives pour le choix des essences

Une autre carte d'exploitation concrète, qui s'imposera sans aucun doute d'ici peu, est une carte indicative pour le choix des espèces en forêt en fonction des caractéristiques des sols. Même dans les travaux de recherche les plus récents au sujet du changement climatique et des modifications dynamiques naissantes en matière de composition des essences⁵², l'importance attachée au rôle du sol est encore (trop) faible. Ce manque ne peut s'expliquer que par le manque de

⁵² ClimTree 2013. International Conference on Climate Change and Tree Responses in Central European Forests. 1 – 5 sept. 2013. ETH Zurich. Program and Abstracts.

données se rapportant aux propriétés pertinentes des sols, spécialement à celles concernant le régime hydrique.

Particulièrement dans le cas d'essais de modélisation sans informations précises au sujet des valeurs pertinentes et connaissances du régime hydrique (profondeur physiologique et capacité au champ de l'espace racinaire effectif), on ne peut guère s'attendre à des résultats significatifs. Il convient notamment de focaliser l'attention sur le sous-sol ainsi que sur les facteurs influençant son régime hydrique. En période de sécheresse, ces facteurs, en combinaison avec le facteur de l'architecture racinaire spécifique, déterminent de manière significative le degré de stress hydrique.

A ce sujet, les tentatives de définir le régime hydrique par interprétation d'unités phyto-sociologiques se sont également avérées trop imprécises. L'espace racinaire effectif représente essentiellement des propriétés du sol de surface et ne décrit que de façon incomplète le sous-sol. Dans les sols profonds, précisément, la répartition en profondeur des racines d'espèces indicatrices herbacées se limite à 85-95% aux 20 - 30 premiers centimètres du sol, soit presque entièrement au sol de surface⁵³. Toute assertion avancée en rapport avec l'expansion verticale et les conditions liées au régime hydrique dans le sous-sol ou les couches de fond (roche-mère) est entachée d'incertitudes (cf. également le chap. 4.4.2). Dans le but de résoudre ce dilemme, il convient donc également de renforcer considérablement les efforts visant à élaborer une carte détaillée des sols, que ce soit par une poursuite de la cartographie des sols basée sur des relevés de terrain selon l'état actuel de la technologie ou par le biais de cartes des sols modélisées numériquement, présentant une même densité d'informations et une résolution comparable.

**Capacité au champ
de l'espace raci-
naire effectif**

**Phyto-sociologie et
régime hydrique du
sol**

⁵³ Polomski, J.; Kuhn, N. 1998: Wurzelsysteme. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien; Haupt.

6 Cartographie des sols en tant qu'investissement

6.1 Réflexions fondamentales

Financement de projets de cartographie des sols

De manière générale, les questions concernant le financement et les coûts passent très rapidement au premier plan lors de la planification de projets de cartographie des sols ; démarche compréhensible et faisant partie d'une évaluation de projet sérieuse. Néanmoins, il convient également d'évaluer le rendement d'un tel effort.

Augmentation des besoins en données pédologiques pour d'autres usages

Vu l'état actuel du développement de méthodes alternatives, il est, dans un premier temps, raisonnable d'examiner réellement la réalité telle qu'elle est représentée par le sol et de sauvegarder et de visualiser ensuite ces informations selon la haute résolution fixée par l'échelle du levé. Aujourd'hui, le besoin en données pédologiques de bonne qualité et à haute résolution, dans le sens d'un investissement, va bien au-delà de l'usage initial dans la production primaire. Mis à part la protection des sols, ce sont avant tout des domaines touchant à la protection de l'environnement qui nécessitent de telles informations. Un vaste choix comprenant 20 demandes-types est présenté dans le projet IS-CH: « Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden⁵⁴ ».

Rôle des pouvoirs publics

Ainsi, il est clair que les pouvoirs publics sont les principaux investisseurs dans la collecte de données de base et qu'ils doivent par conséquent prendre en charge les coûts.

Par le passé, ce principe a été observé dans la plupart des projets ; même les cartographies pour les remaniements parcellaires ont dans une large mesure été financées par la Confédération et les cantons. Seul une petite partie des frais est prise en charge par les membres de la société coopérative.

6.2 Coûts et rendement

Calcul des coûts

Réflexions concrètes concernant les dépenses, présentées en prenant l'exemple de cartes des sols à grande échelle au 1:5000 (c'est-à-dire à une échelle de levé au 1:2'500) :

En tenant compte de toutes les dépenses (y compris l'assurance qualité, la vectorisation et l'introduction des données dans une base de données pédologiques), les coûts d'une cartographie des sols par hectare, basés sur l'état actuel de la technologie, se montent à environ Fr. 500.-/ha, dont Fr. 300.- à 350.- pour les travaux de cartographie des sols en soi, effectués par les spécialistes des sols. Dans l'ensemble, il faut donc s'attendre à des coûts d'environ Fr. 0.05 / m².

Rendement immatériel

Du côté du rendement, après clôture des travaux, on dispose d'une base de données avec environ 30 attributs par polygone. Ces attributs fournissent des

⁵⁴ Lüscher C. (2004): Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden. Bodeninformation Schweiz BICH, Teilprojekt 3.

informations concernant les caractéristiques du sol, divisé en sol de surface et en sous-sol. Ces données sont dotées d'une durée de validité variable (qui dépend entre autres de l'exploitation et de diverses atteintes). Les valeurs dépendant fortement de l'exploitation, à savoir le degré d'acidité, la teneur en humus et la structure du sol de surface, sont susceptibles de varier significativement en l'espace de quelques années seulement. Il est toutefois possible de procéder à de nouvelles mesures de ces valeurs sans grand investissement. D'autres attributs, (avant tout propres au sous-sol), auront une durée de validité allant de quelques années à de nombreuses décennies. Ces informations sont la clé pour les évaluations très diversifiées qui conduisent le plus souvent à des ouvrages cartographiques orientés vers la pratique ou relatifs à la protection (cf. également le chap. 5.2).

Lorsque le gain est exprimé de manière purement monétaire, p.ex. pour l'agriculture, et que des frais de cartographie se montant à Fr. 0,05 / m² sont comparés à un rendement annuel moyen de Fr. 0,40 / m², cela signifie qu'un agriculteur consentant à un effort financier égal à 1/8 de son rendement annuel dispose d'une excellente base de planification et d'exploitation pour de nombreuses générations ; informations qu'il ne doit généralement pas ou que partiellement payer de sa propre poche. Ainsi, l'agriculteur dispose d'un outil permettant une exploitation adaptée de manière optimale aux propriétés de ses terres, surtout en ce qui concerne le bilan hydrique et les questions touchant à l'approvisionnement en éléments nutritifs.

Gain monétaire

Les cartes d'application jouissent d'une signification toute aussi grande, si ce n'est plus importante, dans la sylviculture. Contrairement aux sols agricoles, il n'est pas possible de régénérer entièrement des zones de compaction de sols forestiers par des traitements mécaniques. Cela signifie également, qu'à titre préventif, de telles dégradations physiques et irréversibles des sols doivent être évitées à tout prix ; ce qui nécessite une connaissance approfondie de la structure, de la texture et des propriétés du sol liées au régime hydrique, ainsi qu'une exploitation appropriée (p.ex. en ce qui concerne l'utilisation de machines).

Prévention d'atteintes irréversibles aux sols forestiers

De surcroît, le choix correct des essences, avec un horizon de planification de 80 à 120 ans, gagne en importance au vu des changements climatiques évidents. Il ne peut toutefois être répondu aux questions concernant le régime hydrique qu'à l'aide de bonnes cartes des sols à haute résolution (cf. également les considérations exposées dans le chap. 5.4).

Changement climatique et choix des essences

Il convient aussi de mentionner une autre manière d'évaluer les coûts et le rendement, en interprétant littéralement le terme « valeur du sol » en se posant la question suivante : Quelle valeur l'homme accorde-t-il au sol en tant que milieu vital? Pour la protection des biens fonciers au m² près, les coûts engendrés par une mensuration officielle sont environ cinq fois plus élevés que ceux générés par une cartographie complète et à grande échelle des sols qui décrit le « contenu » de ce terrain, à savoir l'espace vital sol, un des fondements indispensables de notre existence.

Valeur accordée aux sols

On peut espérer qu'en dépit de la valeur avant tout monétaire actuellement accordée aux sols, une plus grande importance sera à l'avenir attribuée aux qualités intrinsèques des sols.

7 Compétences et responsabilités

7.1 Continuité

La sauvegarde du fondement de toute activité pédologique, donc de la connaissance des méthodes et de la présentation adéquate des descriptions de profils et des propriétés extensives des sols, le plus souvent sous forme de « cartes des sols » au sens moderne du terme, nécessite de la continuité.

Ceci est dans l'intérêt de tous les utilisateurs de telles informations, qu'il s'agisse d'exploitants des sols, de personnes responsables de la protection des sols ou de pédologues.

Un environnement sécurisé et compétent est indispensable à l'évaluation de nouvelles méthodes de récolte et de production de données suffisant aux exigences des méthodes helvétiques actuelles de cartographie des sols. Il convient donc d'assurer la continuité de la pédologie appliquée.

Assurer la continuité

Evaluation de méthodes complémentaires

7.2 Compétences techniques

Avant même l'existence de la SSP, la Station fédérale de recherches en production végétale (RAC) à Zurich Reckenholz (par la suite nommée « FAL Reckenholz ») et de la chaire de physique des sols à l'ETH garantissaient une activité de cartographie cohérente. D'un point de vue méthodologique, ces travaux se sont non seulement portés sur l'agriculture, entre autres par l'intermédiaire du projet de cartographie « Carte des sols de suisse 1:25'000 », mais aussi sur les forêts. Cette méthode de cartographie est ainsi devenue la norme dans toutes les régions du pays. Dans un premier temps, la sauvegarde et le développement continu de la méthode ont été mis en péril par la dissolution forcée du service de cartographie à la « FAL Reckenholz » fin 1996.

Stimulé par le lancement de nouveaux projets concrets de cartographie des sols dans les cantons et par la volonté d'adapter la gestion des données et les exigences de qualité aux possibilités modernes, la méthode initiale de cartographie « FAL » a été améliorée pour devenir la méthode de cartographie « FAL+ » sur l'initiative des services cantonaux de protection des sols (cf. chap. 3.3).

A la même époque environ, la mise sur pied du groupe de travail Cartographie des sols de la SSP a favorisé l'échange d'idées entre spécialistes de la cartographie des sols, et certaines améliorations (telles IS-CH) ont été prises en main et documentées par le biais de publications (cf. chap. 2.4). Ainsi, les services cantonaux de protection des sols ont été de plus en plus étroitement associés à toutes les questions liées à la cartographie des sols et au traitement des données. Depuis bientôt 20 ans, et grâce à l'engagement de nombreux membres, ce groupe de travail contribue à assurer la continuité dans ce domaine.

L'importance de la cartographie des sols et des tâches de coordination et d'information qui s'ensuivent, tant en rapport avec la collecte que la gestion des

Dissolution de la FAL Reckenholz en tant que centre de compétences

Rôle des services cantonaux de protection des sols

Champ d'action du groupe de travail Cartographie des sols de la SSP

Avantages d'une institution spécialisée solide

données, a conduit à plusieurs tentatives d'initier un centre de compétences pédologiques au niveau fédéral^{55 56}. Moyennant une lettre en date du 28 janvier 2013 à l'adresse de Mme la Conseillère fédérale D. Leuthard, la Société suisse de pédologie soutient à nouveau la tentative de mettre sur pied un centre national et institutionnalisé de compétences pédologiques, tel qu'il avait été exigé en 2012 par la motion Müller-Altermatt⁵⁷, déposée au Conseil national.

Grâce à ses groupes de travail sur la cartographie des sols, la classification et la nomenclature, la SSP garantit que le savoir disponible aujourd'hui pourra, au besoin, être intégré sans pertes dans une nouvelle structure dotée de ressources suffisantes.

Grâce à une adhésion ouverte à tous, et au travers de problématiques concrètes et proches de la pratique, l'échange de connaissances entre personnes s'intéressant à la cartographie des sols, issues de la cartographie pratique, des cantons ou de toute autre institution, reste garanti.

7.3 Droits sur les données et les évaluations

Maîtrise des données

Tant pour les données de base que pour les évaluations qui en découlent, les droits sur les données, donc la maîtrise des données, est attribuée aux donneurs d'ordre qui, le plus souvent, en assurent également le financement.

Le rôle des pouvoirs publics

Dans la plupart des cas, les mandants en matière de cartographies des sols travaillent dans le secteur public (avant tout dans les services cantonaux, dans une moindre mesure dans les services fédéraux). De nombreux projets de cartographie plus anciens ont été effectués dans le cadre de remaniements parcellaires. Toutefois, dans ces cas également, les syndicats d'amélioration foncière, mandants des travaux, ont été subventionnés à 80 % ou plus par les pouvoirs publics (par la Confédération et les cantons, éventuellement aussi par les communes).

Accessibilité des cartes des sols

Ainsi, on peut s'attendre à ce que les cartes soient mises à disposition du public de manière adéquate ; ce qui est de plus en plus souvent le cas, comme démontré par les divers sites Internet des cantons (les liens sont énumérés dans la fiche d'information 2).

⁵⁵ SSP Société suisse de pédologie, groupe de travail Cartographie des sols (2000): Umfrage Bodenkartierung. Bedarfsabklärung Bodenkarten und Bodeninformation, Aufgaben im Zusammenhang mit der Bodenkartierung, Ideen zu einer Bodeninformationsstelle. SSP Document 10.

⁵⁶ Knecht M. (2009): Projet Infosol Suisse IS-CH. Rapport final de la SSP (comité de projet IS-CH) à l'OFEV, Office fédéral de l'environnement.

⁵⁷ 12/4230 – Motion; Müller-Altermatt Stefan: Centre national de compétences pédologiques. Un gain pour l'agriculture, l'aménagement du territoire et la protection contre les crues.

8 Interventions requises et questions en suspens

8.1 Méthodes standardisées

Les protocoles de cartographie FAL ont fait leurs preuves, et de par l'introduction continue d'informations supplémentaires (surtout en rapport avec l'élaboration de cartes de concept), ils ont été convertis en la méthode de cartographie « FAL+ », éprouvée depuis bientôt 20 ans.

Une valorisation supplémentaire a eu lieu grâce à un système d'assurance qualité, une collecte et un stockage des données axés sur les processus, ainsi qu'une utilisation intensive des possibilités offertes par les outils SIG. Par conséquent, nous disposons aujourd'hui d'un système 'hybride' (basé sur des relevés de terrain et numérique) de cartographie des sols. Ce statut de qualité doit être garanti et amélioré lorsque de nouvelles connaissances sont disponibles. L'état actuel de la méthode de cartographie, y compris l'assurance qualité, doit être documenté et publié. Dans les groupes de travail Cartographie des sols et Classification et nomenclature, il convient de continuer à traiter les questions pratiques liées aux méthodes cartographiques et à la classification et, le cas échéant, de les introduire dans le développement ultérieur de la méthode et de la classification.

Après l'élaboration des modèles IS-CH de profil et de données surfaciques, il était plus facile de procéder à la numérisation de données pédologiques récoltées selon le protocole FAL avant l'ère numérique. MIGRAPROFIL, le logiciel de saisie spécifique, a servi à la numérisation des données de profils. Et les protocoles techniques rédigés à ce sujet pour les anciennes données de profil et surfaciques ont été utilisés pour les deux types de données.

Dans ce domaine, NABODAT a fait avancer rapidement les travaux de numérisation des données de profils et surfaciques, en collaboration avec les cantons et avec le soutien financier de l'OFEV. En ce qui concerne les données de profils, ces travaux sont presque terminés. Le traitement des données surfaciques suivra (cf. chap. 2.5).

Le développement de méthodes pour la production de cartes modélisées des sols est en cours, entre autres dans le cadre du PNR68 (cf. chap. 3.4). Les exigences concernant leur utilité pratique et les exigences en matière de qualité sont à calquer sur celles définies par le groupe de travail de l'UE⁵⁸ dans ce domaine.

8.2 Formation

Sauvegarde du développement de méthodes

Clôture de la numérisation « d'anciennes » données

Définition des exigences envers les cartes modélisées des sols

⁵⁸ Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006): Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Formation de spécialistes de la cartographie des sols

Dans un premier temps après la cessation d'activité du service de cartographie des sols à la (FAP)/FAL Reckenholz fin 1996, un nombre suffisant de spécialistes travaillant dans des bureaux privés était encore disponible pour les quelques mandats de cartographie. Toutefois, en raison du nombre croissant de mandats observé ces dernières années, de nouveaux spécialistes ont été formés « sur le terrain », dans le cadre de projets en cours de réalisation ; un mode de formation / de formation continue qui n'est pas idéale.

Formation CAS

La nécessité d'une possibilité de formation a néanmoins été reconnue : une formation CAS (Certificate of Advanced Studies) en cartographie des sols www.zhaw.ch/nc/de/science/weiterbildung/cas/cas-details.html?i=N694601&gu=0 a été proposée et a eu lieu en 2013, sous l'égide de quatre hautes écoles spécialisées (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften Wädenswil, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften Zollikofen-Bern, Haute école du paysage d'ingénierie et d'architecture de Genève et Ecole d'ingénieur de Changins). Dans le cadre de cette formation CAS de cartographie des sols, les participants acquièrent le savoir-faire théorique et pratique propre à la cartographie des sols, entre autres grâce à l'exécution d'un petit projet de cartographie des sols. Le processus convertissant les diplômés du CAS Cartographie des sols en spécialistes dans ce domaine n'a pas encore été défini. A ce sujet, il convient d'être en mesure de proposer des « possibilités d'entraînement », y compris une clarification des offres pratiques.

8.3 Comparaison des coûts de différentes méthodes

Les coûts des modélisations sont difficiles à chiffrer

Au cours des débats et des évaluations concernant les cartographies classiques et modélisées, les coûts font très rapidement l'objet de discussions. Une certaine incertitude règne concernant les différences entre les coûts relativement faciles à chiffrer des cartographies classiques et ceux de la cartographie basée sur la modélisation, plus difficiles à calculer en raison de l'état actuel du développement méthodologique. Dans les articles spécialisés parus récemment, la cartographie basée sur des modèles est souvent décrite comme étant la variante moins onéreuse. Toutefois, ces publications ne prennent généralement pas en compte le résultat de la cartographie en question, à savoir la densité du contenu (nombre d'attributs) et la résolution spatiale.

En ce qui concerne les coûts et le rendement, une comparaison objective des résultats de ces deux méthodes très différentes de cartographie (cf. également le chap. 6.2) n'est actuellement pas (encore) réalisable. Dans le contexte de la discussion sur la direction méthodologique à emprunter, les réflexions coûts-bénéfices tenant compte des exigences qualité à respecter sont incontournables.

9 Perspectives

9.1 Fondements

En raison de ses propriétés naturelles de filtre, tampon, réservoir, régénérateur, espace vital et milieu pour les plantes, le sol joue un rôle décisif dans l'espace naturel. En conséquence, l'intérêt porté aux informations pédologiques va en augmentant.

Une analyse de sol de bonne qualité, effectuée sur la base de connaissances et d'expériences détaillées, constitue le fondement d'informations pédologiques fiables et de cartes des sols suffisamment précises et axées sur la pratique.

La modélisation de cartes des sols nécessite également des données pédologiques de base de bonne qualité (des jeux de données sur les covariables, entre autres), afin d'être en mesure de garantir une précision suffisante du produit, donc de la carte des sols.

Intérêt important porté aux données pédologiques

Importance des connaissances pédologiques spécialisées et des données de base suffisantes concernant les sols

9.2 Développement

En Suisse, l'histoire de la méthode de cartographie des sols s'étend sur plus de 60 ans. Elle jouit encore et toujours d'un développement continu, conduisant à de nouvelles ressources et techniques de relevé, de gestion et de représentation des données.

La méthode améliorée de cartographie « FAL+ » basée sur des relevés de terrain réunit des données numériques de base et des données d'analyses des sols effectuées sur le terrain par des spécialistes de la cartographie des sols. Cette démarche garantit la relation causale des informations pédologiques. Il en résulte des limites de surfaces vectorisées (polygones) et des banques de données d'attributs numériques qui sont les fondements de l'élaboration de cartes d'application (cartes fonctionnelles des sols) présentant les informations appropriées. Au niveau des projets cantonaux de cartographie des sols actuellement en cours, le processus tout entier, y compris les étapes ne se rapportant pas directement à la cartographie, est déterminé du début à la fin par des procédés clairement définis et est surveillé moyennant des étapes obligatoires d'assurance qualité.

Poursuivre le développement des techniques de cartographie des sols

Les efforts en cours depuis environ dix ans et visant à élaborer des cartes numériques des sols sur la base de méthodes de modélisation très variées sont suivis avec intérêt. Dans le cadre du Programme national de recherche « Utilisation durable de la ressource sol » (PNR68), le projet « PMSoil : Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale », auquel participent des chercheurs de l'ETH et de l'Université de Zurich, d'Agroscope Reckenholz, de l'Observatoire national des sols et de la station de recherches WSL à Birmensdorf, est actuellement en cours de réalisation. Ce projet vise à examiner la précision de prédictions spatiales concernant les propriétés et le potentiel fonc-

Suivre les nouvelles approches en matière de modélisation

tionnel des sols, calculées moyennant de modèles statistiques basés sur des données pédologiques, et de déterminer les méthodes à utiliser à cette fin. Les calculs se font d'une part sur la base de données pédologiques issues d'anciens projets de cartographie des sols, et d'autre part moyennant des co-variables pour les facteurs de pédogenèse présentant en partie une résolution spatiale très élevée.

Augmentation de la densité des informations

Indépendamment de la méthode choisie, l'objectif visé doit être une amélioration significative de la densité des informations concernant les sols suisses dans l'espace tridimensionnel, et ceci dans un délai prévisible.

Mission et obligation pour la SSP

Pour la Société suisse de pédologie SSP, la poursuite de cet objectif et l'encouragement de sa réalisation doivent être tant motivation qu'obligation.

9.3 Orientations futures

Les futures orientations de la cartographie des sols en Suisse peuvent être résumées en cinq points.

Cinq orientations

1. Il convient d'officialiser la cartographie moderne des sols basée sur des relevés de terrain, à savoir la méthode de cartographie « FAL+ » qui correspond à l'état présent de la technique, en mettant à jour et en lançant une refonte des protocoles actuels de cartographie pour les sols forestiers et agricoles.
2. A cet effet, il convient d'envisager la création, au niveau fédéral, d'un service de cartographie des sols offrant les compétences nécessaires et idéalement intégré dans le nouveau Centre national de compétences pédologiques.
3. Le développement des approches propres à la modélisation de propriétés des sols doit être poursuivi. Il convient de contrôler et d'intégrer dès que possible ces méthodes dans les applications appropriées.
4. Les résultats de la cartographie des sols et les possibilités d'application qui en résultent sont à intégrer dans les stratégies des sols de la Confédération et dans les disciplines spécialisées connexes, ainsi qu'à mettre en œuvre par les instances d'exécution des cantons.
5. De concert avec d'autres partenaires, la Société suisse de pédologie assume ses responsabilités en tant qu'organe spécialisé, afin de promouvoir, indépendamment de la méthode utilisée, le relevé compétent des propriétés naturelles des sols sous forme de cartes couvrant l'ensemble du territoire.

10 Bibliographie générale

- 1 Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.
- 2 AFES Association française pour l'étude du sol (2009) : Référentiel pédologique 2008. Coordination éditoriale : Baize D. ; Editions Quae.
- 3 Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn (1995): Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Berichte, Nr. 23.
- 4 ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2006) : Sachplan Fruchtfolgeflächen FFF. Vollzugshilfe.
- 5 Baize D. et Jabiol B. (1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.
- 6 BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2000) : Umfrage Bodenkartierung. Bedarfsabklärung Bodenkarten und Bodeninformation, Aufgaben im Zusammenhang mit der Bodenkartierung, Ideen zu einer Bodeninformationsstelle. BGS Dokument 10.
- 7 BGS Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (2010) : Klassifikation der Böden der Schweiz. Bearbeitet von der Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur. Dritte, korrigierte Auflage 2008. Luzern.
- 8 Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft BFW, Wien : Bodenkartierung Österreich, online auf <http://www.bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7049>
- 9 OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996) : MANUEL Cartographie des sols forestiers. Rédaction : Ruef A. et Peyer K. ; Traduction : Bonnard L.-F., Station fédérale de recherches agronomiques FAP, Reckenholz, Zurich. Editeur : OFEFP, Berne.
- 10 Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- 11 DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1988) : Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK Merkblätter 212.
- 12 FAL Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (1997) : Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Autoren: Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe Nr. 24. Reckenholz, Zürich.
- 13 Frei E., Juhasz P. (1963) : Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz. Landw. Forschung.
- 14 Herbst P., Mosimann T. (2008) : Prognose der Wasserspeicherfähigkeit von Waldböden in der Nordwestschweiz. Geosynthesis online 04. Institut für Physische

Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover, D-30167 Hannover.

- 15 Hintermaier-Erhard G., Zech W. (1997) : Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.
- 16 Kaeser E. (2013) : Wein, Wissen und Geschmack. ‚Nordwestschweiz‘, 30. März 2013, S. 7.
- 17 Knecht M. (2004) : Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.
- 18 Knecht M. (2009) : Projekt Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht der BGS (Projektausschuss BICH) an das BAFU Bundesamt für Umwelt.
- 19 Landolt E. (1977) : Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 64. Heft. Zürich.
- 20 Legros J.-P. (1996) : Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Collection Gérer l'environnement 10, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- 21 Lüscher C. (2004) : Leitfaden Bodenkartierung : Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden. Bodeninformation Schweiz BICH, Teilprojekt 3.
- 22 McBratney A.B., Mendonça Santos M.M., Minasny B. (2003) : On digital soil mapping. Geoderma 117, 3-52.
- 23 Mosimann T., Herbst P. (2013) : Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. Schweiz Z. für Forstwesen. Bd. 164 (1), 10-22).
- 24 Müller U. (2004) : Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 7. erweiterte und ergänzte Auflage. Arbeitshefte Boden.
- 25 Nussbaum M., Ettl L., Çöltekin A., Suter B., Egli M. (2011) : The Relevance of Scale in Soil Maps, Bulletin BGS 32, 63-70.
- 26 OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996) : MANUEL Cartographie des sols forestiers. Rédaction : Ruef A. et Peyer K. ; Traduction : Bonnard L.-F., Station fédérale de recherches agronomiques FAP, Reckenholz, Zurich. Editeur : OFEFP, Berne.
- 27 Universität Rostock : Lexikon Geoinformatik-Service der Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG)
En ligne sur <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de>
- 28 Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.-R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C. and Selvaradjou S-K. (2004) : Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Volume V, MONITORING, EUR 21319 EN/5, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

11 Fiches d'information (titres traduits)

- Faktenblatt 1: FAL-Kartierung. La cartographie „FAL“ ou „FAL+“
- Faktenblatt 2: Bodenkartierungs-Projekte in den Kantonen
Projets de cartographie des sols dans les cantons
- Faktenblatt 3: BICH Bodeninformation Schweiz, IS-CH information Sol Suisse
- Faktenblatt 4: NABODAT
- Faktenblatt 5: DSM Digital Soil Mapping
- Faktenblatt 6: Grundlagen der Qualitätssicherung. Principes de garantie de qualité

11.1 Faktenblatt 1: FAL-Kartierung;

11.2 Fiche d'information: cartographie d'après « FAL » ou « FAL+ »

Entwicklung

Ein erstes Bodenkartierungsprojekt in der Schweiz betraf 1947 das Gebiet Reckenholz (Zürich-Affoltern), nachdem anfangs der 1940-er Jahre durch Prof. Pallmann an der ETH Zürich erste Arbeiten für eine schweizerische Klassifikationsanleitung durchgeführt wurden. Erwin Frey (FAP/FAL) verfolgte diese Idee und verhalf ihr anfangs der 50-er Jahre zum Durchbruch

Die eigentliche Methodenentwicklung für eine schweizerische Bodenkartierung erfolgte ab 1955 an der FAP (Forschungsanstalt für Pflanzenbau, Reckenholz). Ab 1959 folgte die Einrichtung eines sogenannten Bodenkartierungsinstituts am selben Ort (heute Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz), das auch bis 1996 das Zentrum für die Bodenkartierung von Landwirtschafts- und Waldböden blieb.

Eine erste Kartieranleitung entstand 1963. Die heute noch gültige Kartieranleitung stammt in 2. Auflage aus dem Jahre 1997. Das Handbuch für die Waldbodenkartierung, datiert 1996, basiert auf denselben Grundlagen und ist weitgehend identisch, allerdings mit Erweiterungen bezüglich der Humusformen und der forstspezifischen Interpretationen.

In den Jahren 1951 bis 1994 wurden ca. 340 Standardprodukte, umfassend die Bodenkarten von rund 500 Gemeinden, im Rahmen von Güterregulierungen und Meliorationen erarbeitet. Ein solches Standardprodukt umfasste jeweils drei in analoger Form aufgearbeitete Themenkarten (Wasserhaushaltskarte, Nutzungseignungskarte und Risikokarte) in einem Massstab zwischen 1:1'000 bis 1:10'000, meist im Massstab 1:5'000.

Ab 1977 wurde das längerfristig angelegte Projekt „Bodenkarte der Schweiz 1:25'000“ durch den Bodenkartierungsdienst Reckenholz initiiert und, unter Miteinbezug der Waldflächen, durchgeführt. Daraus resultierten 13 im Massstab 1:25'000 publizierte [Kartenblätter](#), sowie einige MAB (Man and Biosphere)-Gebiete.

Als Basis für die Bodenkartierung entstand 1992 eine Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS), die heute in dritter, korrigierter Auflage, datiert 2010, vorliegt.

1996 wurde durch das AfU SO die FAL-Kartieranleitung zu einer attribut-orientierten, polygonweise unklassierten Datenerhebungsmethode (ohne Legenden) mit digitaler Datenablage weiterentwickelt → FAL-Kartiermethode+. Dazu erfolgte die Ergänzung des Profilblattes 6 → 6.1.

	<p>Der Ablauf einer (Detail-) Bodenkartierung (Grundlagenstudium, Konzeptkarte, Profilsprache, Feldkartierung) ist in vielen Ländern sehr ähnlich. Entscheidende Unterschiede resp. Stärken der FAL-Kartierung im Vergleich zu anderen Kartiermethoden sind in Kap. 3.3. dieses Berichts aufgeführt.</p> <p>Daneben erfolgte im Jahre 1975 die Publikation einer Landwirtschaftlichen Bodeneignungskarte 1:300'000 und im Jahre 1980 diejenige einer flächendeckenden Übersichtskarte (Bodeneignungskarte BEK 1:200'000, Bundesamt für Raumplanung, EJPD). Beide Kartenwerke wurden nicht gemäss der klassischen FAL-Kartierung erarbeitet, sondern stützten sich stark auf eine luftbildbasierte Geländeformen-Analyse ab.</p>
<p>Zeitliche Datierung</p>	<p>1947 Projektbeginn mit 1. Bodenkarte (Zürich Affoltern Reckenholz)</p> <p>–</p> <p>1951-1994 Bodenkartierungen im Rahmen von Güterregulierungen/Meliorationen, meist 1:5'000</p> <p>ab 1955 Erste Methoden-Entwicklungen unter Dr. Erwin Frei an der FAP Reckenholz</p> <p>1959 Einrichtung Bodenkartierungsinstitut an der FAP Reckenholz</p> <p>1963 Erste Kartieranleitung: FAL-Kartiermethode</p> <p>1975 Bodeneignungskarte der Schweiz 1:300'000</p> <p>ab 1977 Projekt 'Bodenkarte der Schweiz' 1:25'000</p> <p>1980 Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000</p> <p>1992 Klassifikation der Böden der Schweiz, 1. Auflage</p> <p>1996 Handbuch Waldbodenkartierung</p> <p>1996 per Ende Jahr Einstellung der Bodenkartierungstätigkeit an der FAL</p> <p>1996 Weiterentwicklung der FAL-Kartieranleitung durch das AfU SO zu einer attribut-orientierten, polygonweise unklassierten Datenerhebungs-Methode (ohne Legenden) mit digitaler Datenablage: FAL-Kartiermethode+. Weiter erfolgte die Ergänzung des Profilblattes 6 → 6.1.</p> <p>1997 Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden (Handbuch)</p> <p>1997 Gründung der AG Bodenkartierung der BGS</p> <p>2002-2009 Projekt Bodeninformation Schweiz (BICH) der BGS zur Entwicklung von Werkzeugen für die Sicherung und Aufarbeitung von alten und neuen Profil- und Flächendaten aus Bodenkarten und</p>

	<p>Entwicklung von Anwendungskarten aus der digitalen Detailkartierung. (Faktenblatt 3).</p> <p>2010 Klassifikation der Böden der Schweiz, 3. Auflage</p>
Akteure	FAP / FAL, BGS, Kantone
Anleitungen / Wegleitungen	<ul style="list-style-type: none"> · Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Autoren: Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich Reckenholz, 24. 1997. · Waldbodenkartierung. HANDBUCH, bearbeitet durch Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau FAP, Autoren: Ruef A. und Peyer K., Zürich-Reckenholz. Hrsg. BUWAL. 1996 · Klassifikation der Böden der Schweiz. Dritte, korrigierte Auflage. Bearbeitet von der Arbeitsgruppe 'Klassifikation und Nomenklatur' der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS), Luzern. 2010. · Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn. Amt für Umweltschutz. Berichte Nr. 23. Dezember 1995.
Bewertung	Erarbeitung und Sicherstellung einer landesweit einheitlichen und modernen Kartiermethode als CH-Standard für Wald- und Landwirtschaftsböden
Spezifische Literatur	Frei, E. und Juhasz, P., Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz. Landw. Forschung, 1963.
Bezug zu Kap.: 2.1; 3.2; 3.3	

11.3 Fiche d'information 2: projets de cartographie dans les cantons

Beschreibung

Nebst den im Rahmen von Güterregulierungen resp. Meliorationen seit den 60-er Jahren des letzten Jahrhunderts erarbeiteten gross- und mittelmasstäbigen Bodenkartenwerken sowie den kleinmasstäbigen Übersichtskarten in den 70-er- und 80-er-Jahren wurden zunehmend auch die Kantone selbst aktiv hinsichtlich flächendeckender grossmasstäbiger Karten (meist im Darstellungsmassstab 1:5'000). Durch die intensivierte Nutzung in Land- und Forstwirtschaft und neuer auch durch Bodenschutz-Aufgaben im Rahmen der Umweltschutzgesetzgebung entstand eine zunehmende Nachfrage nach hochauflösenden Bodendaten, für die meist die Bodenschutzfachstellen der jeweiligen Kantone als Auftraggeber zeichneten.

Wenn nicht speziell erwähnt, beziehen sich die Zahlen (Fläche in ha; Anzahl Profile) auf die FAL-Liste der Detailbodenkartierungen im Massstab 1:1000 bis 1:5000 (teilweise 1:10'000) aus dem Jahre 2008, sowie auf Auskünfte aus den Kantonen.

Übersicht über die Kantone:

Im Kanton **Zürich** wurde bereits im Jahre 1988 eine flächendeckende Kartierung der Landwirtschaftsflächen im Massstab 1:5'000 gemäss FAL-Kartiermethode in Angriff genommen, deren Feldarbeiten bis 1996 anhielten (Schlussbericht 1998).

Im Web: <http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gb.asp?app=boka>

Ab Herbst 2013 (bis 2017) sollen auch rund 6000 Hektar Waldböden (Massstab 1:5'000) mit GIS-basierter feldgestützter Kartierung (FAL-Kartiermethode+ und erweiterten Attributansprachen) kartiert werden.

Im Kanton **Bern** wurden bis im Jahre 1996 18'786 ha Landwirtschaftsböden kartiert, zusätzlich ca. 1'000 ha in den Jahren 1997 und 2000. Es wurden zwecks Übernahme in das NABODAT total 2'409 Profile aufgearbeitet.

Im Kanton **Luzern** existiert keine grossmasstäbige, flächendeckende Bodenkarte. Vor rund 10 Jahren wurden anhand einer GIS-Modellierung die wichtigsten Bodeneigenschaften (Bodentyp, Wasserhaushalt, Gründigkeit, Geländeform) hergeleitet. Das Produkt dieser Modellierung stellte sich für den Vollzug als zu ungenau heraus. In der Kantonsverwaltung werden am häufigsten präzise, parzellenscharfe Bodeninformationen (z.B. für Baugesuchs-Behandlung oder Grundwasserschutzzonenauscheidung) gebraucht. Die Modellierung der Bodeneigenschaften genügte diesen Anforderungen nicht. Durch diese Erkenntnis wurde wieder der Pfad einer feldgestützten klassischen Bodenkartierung eingeschlagen. Seit 2009 werden im Kanton Luzern Landwirtschaftsböden nach FAL-Kartiermethode+ im Aufnahmemassstab von 1:2'500 und dem Abbildungsmassstab von 1:5'000 kartiert.

Im Web: <http://www.geo.lu.ch/map/boden/> oder
<http://www.uwe.lu.ch/index/themen/bodenschutz/bodeninformation.htm>

Im Kanton **Uri** wurden in der Reussebene total 1'300 ha Landwirtschaftsböden mit insgesamt 31 Profilen kartiert. Ein Jahr nach dem Abschluss der Kartierung (1987) wurden grosse Flächen der Reussebene überschwemmt.

Im Kanton **Schwyz** wurden 61 ha kartiert, damit verbunden war die Aufnahme von 23 Bodenprofilen.

Im Kanton **Obwalden** wurden im Gebiet der Sarner Wildbäche 1'239 ha kartiert und 83 Profile angesprochen.

Im Kanton **Nidwalden** sind 4 Bodenprofile vorhanden, Fläche der Kartierung nicht bekannt.

Im Kanton **Glarus** wurden in den Jahren 2006 bis 2010, ausgelöst durch die Fruchtfolgeflächenthematik, knapp 1'100 ha oder 11 Quadratkilometer Talboden im Massstab 1:2'500 kartiert, dazu 102 Bodenprofile gegraben und beschrieben und 1111 Polygone ausgeschieden. Nebst einer Bodentypenkarte und der Wasserhaushaltsgruppenkarte wurden auch weitere Spezialkarten generiert, wie z.B. eine Gründigkeitskarte (pflanzennutzbare Gründigkeit):

http://www.gl.ch/xml_1/internet/de/application/d1256/d37/d260/d503/f1248.cfm

Im Kanton **Zug** liegen für alle Landwirtschaftsböden flächendeckende grossmassstäbige Bodenkarten vor.

Im Web: <http://www.zugmap.ch/zugmap/BM3.asp>.

Ebenso eine Anleitung zur Benutzung der Bodenkarte:

http://www.zugmap.ch/zugmap/ZUGIS_ZUGMAP_Dokumente/Bodenkarte/Anleitung.pdf.

Im Kanton **Freiburg** beträgt die kartierte Fläche 1'151 ha mit 604 Profilen.

Bis Ende März 2014 sollen alle Profildaten der FAL-Bodenkartierungsprojekte erfasst und übersetzt sein. Im Anschluss daran sollen auch die Bodenkarten aufgearbeitet werden, der Zeitpunkt hierzu ist noch nicht bestimmt.

Im Kanton **Solothurn** wurde die flächendeckende, grossmassstäbige Bodenkartierung in Feld und Wald ab 1996 in Angriff genommen. Auf der Basis der klassischen FAL-Kartiermethode wurde eine den neuen Datenmanagementmöglichkeiten angepasste Kartiermethode eingeführt. Dabei werden die erhobenen Polygoneigenschaften nicht einem Legendeninhalt zugeordnet, sondern es wird je Polygon ein eindeutig definierter Datensatz erhoben (mit Laborwerten hinterlegte Schätzwerte anstelle von Klassenwerten) und in einer Datenbank abgelegt. Dies vereinfacht die digitale Verarbeitung der Bodendaten stark. Mit relativ wenig Auf-

wand können Attributkarten und funktionale Karten abgeleitet werden. Diese Methode wird heute zur Unterscheidung von der klassischen Methode als FAL-Kartiermethode+ bezeichnet.

Per 2014 belief sich die Fläche der bis zu diesem Zeitpunkt auf diese Weise erfassten grossmasstäbigen Bodenkartierung auf 20'000 ha. Im Web:

http://www.sogis1.so.ch/sogis/internet/pmapper/map.phtml?config=boden_lw

Im Kanton **Basel-Landschaft** wurden die Landwirtschaftsböden unter Anwendung der FAL-Kartierungs-Methode erhoben. Die Bodenkartierung umfasste rund 23'000 Hektaren. Die Kartierung begann Ende 1988 und wurde 1998 abgeschlossen.

Die Waldbodenkarten basieren auf einer Modellierung (2011).

Die umfangreichen Bodeninformationen und die darauf abgestützten Detail-Auswertungen zu Nutzung, Gefährdung, Schutz etc. sind im Web unter <http://geoview.bl.ch> // „Thema Boden“ abrufbar.

Im Kanton **Basel-Stadt** wurden die Landwirtschaftsböden gleichzeitig mit den denjenigen des Kantons Basel-Landschaft (s. oben) kartiert.

Im Kanton **Schaffhausen** wurden total 3'656 ha kartiert, dies bei 230 Bodenprofilen, die Aufarbeitung der Profile ist abgeschlossen.

Im Kanton **Appenzell Ausserrhoden** wurden 1'593 ha im Massstab 1:10'000 kartiert, mit 29 Bodenprofilen.

Zum Kanton **Appenzell Innerrhoden** sind keine Angaben vorhanden.

Im Kanton **St. Gallen** wurden in den 80er-Jahren 59'198 ha Landwirtschaftsböden durch die FAL Reckenholz kartiert und 1'545 Bodenprofile angesprochen. Die Ergebnisse wurden im Massstab 1:5'000 oder 1:10'000 dargestellt. Zusätzliche 3'108 ha Fläche sind in Form von Nutzungseignungskarten vorhanden.

Um die wertvollen Informationen des Kartenmaterials für die Zukunft zu erhalten und weiter bearbeiten zu können, wurden die analogen Daten zu einem Bodeninformationssystem (BISG) verarbeitet. Dieses Projekt setzte das AFU in den Jahren 2002 bis 2008 zusammen mit dem Amt für Raumentwicklung und Geoinformation um. Seit April 2010 ist die digitale Bodenkarte des Kantons St. Gallen im Internet veröffentlicht.

Ab 2013 (bis 2017) werden die Nutzungseignungskarten des Kantons zu Bodenkarten überarbeitet und in das Bodeninformationssystem integriert. Im Web:

<http://www.geoportal.ch/map.aspx?intern=0&APPLI=3&TOPIC=2&Attr1=725000&Attr2=255000&Attr3=&Map=395&Width=10000&Sign=0&Group=73D3D7AB400F690DC41A6BF5899E690949E75013A97DAA445D3C7012433D7045&UID>

Im Kanton **Graubünden** sind FAL-Bodenkarten aus den Jahren 1967 bis 1997 in unterschiedlichen Massstäben (1:5'000, 1:10'000 und

1:25'000) vorhanden. Nach Übersetzung der älteren Flächendaten stehen die Polygondatensätze dieser Karten nun im GIS mit aktualisierten Legendeneinheiten zur Verfügung. Für einzelne Gebiete sind die Polygondatensätze derzeit nur mit der Originallegendenversion verfügbar. Die Bodenkarten im Massstab 1:2'000 bis 1:10'000 decken ein Gebiet von 5'435 ha ab. Dies entspricht 1.3 % der produktiven Fläche (Landwirtschaft und Wald).

Sämtliche 619 FAL-Bodenprofile wurden ebenfalls übersetzt und liegen im GIS als Punktdatensatz vor. Die Profildaten sind auch in der Datenbank NABODAT abgelegt.

Eine luftbildgestützte Bodenkartierung deckt mehrheitlich die Haupttäler des Ober- und Unterengadins, des Bergells, sowie von Mittelbünden und das Davoser Tal ab. Sie umfasst die wenig geneigten Talböden. Die luftbildgestützte Bodenkartierung ist in eine modellierte Bodenhinweiskarte integriert.

Diese baut auf einer GIS-basierten Modellierung von Bodentypen und ausgewählten Bodenparametern auf und liegt für den ganzen Kanton vor. Sie gibt einen groben Überblick über die Bodenverhältnisse im Kanton Graubünden.

Grosse Lücken an Bodeninformationen bestehen weiterhin in den intensiv genutzten Gebieten Nordbündens. Ein Konzept zur Erhebung von detaillierten Bodeninformationen in Vorranggebieten liegt im Entwurf vor.

Im Kanton **Aargau** wurden in den 1980er Jahren für die Ausscheidung der Fruchtfolgeflächen landwirtschaftliche Eignungskarten im Massstab 1:5'000 erstellt. Acht durch die FAL Reckenholz erstellte Bodenkarten 1:25'000 decken knapp die Hälfte der Kantonsfläche ab. Zusammen mit Kartierungen aus Meliorationen etc. liegen somit für ca. 2/3 der Kantonsfläche Bodenkarten vor. Die meisten Karten sind im Geoportal <https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/geoportal.jsp> verfügbar. In den Jahren 2011 bis 2014 wurden die Bodenprofile aus den Kartierungen der FAL im Aargau aufbereitet und ins NABODAT überführt.

Der Kanton **Thurgau** verfügt über 270 ha detaillierte Bodenkarten mit 73 angesprochenen und aufgearbeiteten Bodenprofilen.

Seit 2005 liegt zudem eine Bodenübersichtskarte (BÜK) im Massstab 1:50'000 vor. Die BÜK wird vom Amt für Raumplanung als Planungsgrundlage für raumplanerische Entscheide verwendet. Im Amt für Umwelt ist sie das zentrale Instrument für alle Fragen im Zusammenhang mit dem Vollzug des physikalischen Bodenschutzes, soweit dies die räumliche Auflösung gestattet. Im Web:

http://geo.tg.ch/mapbender/frames/login.php?gui_id=Bodenubersichtskarte

Im Kanton **Tessin** wurden 3'293 ha Landwirtschaftsböden kartiert und 193 Bodenprofile angesprochen. Im Jahre 2004 wurden ca. 800 ha Rebbergböden durch das Büro Sigales (F) im Massstab 1:10'000 kartiert. Die Bodenkarten wurden, dies nach Besprechungen mit den Win-

zern, ergänzt und präzisiert.

Im Kanton **Waadt** wurden insgesamt 103'500 ha Wald- und Landwirtschaftsböden im Massstab 1:10'000 auf der Basis der FAL-Kartierungsmethode (mit Erweiterungen und z.T. auch Vereinfachungen) kartiert. Dazu wurden rund 800 Profile und 16'000 Bohrungen angesprochen. Die Aufarbeitung der Karteninhalte ist im Gang.

Die Böden der Rebberge (3800 ha) wurden zwischen 2000 und 2003 durch das Büro Sigales (F) im Massstab 1:10'000 kartiert. Die Bodenkarten, basierend auf klassischen Felduntersuchungen (300 Profile und 1400 Bohrungen) wurden, basierend auf Besprechungen mit den Winzern, ergänzt und präzisiert.

Im Kanton **Wallis** erfolgten frühere FAL-Kartierungen zum grössten Teil im Oberwallis (Goms, Turtmann), eine kleinere Fläche im Massstab 1:10'000 bei Sierre (Liddes). Total der alten FAL-Bodenkarten: 5'155 ha, 254 Profile.

Für die Planung der 3. Rhonekorrektur wurden von 2006 bis 2009 rund 7'000 ha Landwirtschaftsböden im Massstab 1:10'000 kartiert und 1'300 Bohrungen und 55 Profile angesprochen. (Der Schlussbericht zur Bodenkartierung für die 3. Rhonekorrektur sollte demnächst vorliegen).

Die Rebberge (5200 ha) wurden zwischen 2004 und 2007 durch das Büro Sigales (F) im Massstab 1:10'000 kartiert. Nach den klassischen Felduntersuchungen wurden Besprechungen mit den Winzern organisiert, um die Karte zu ergänzen und zu präzisieren.

Im Kanton **Neuenburg** wurden im Jahre 2004 die Rebbergböden (600ha) durch das Büro Sigales (F) kartiert (Massstab 1:10'000). Die Bodenkarten wurden, nach Besprechungen mit den Winzern, ergänzt und präzisiert.

Im Kanton **Genf** deckt die Bodeneignungskarte im Massstab 1:50'000 aus dem Jahr 1976 eine Fläche von rund 10'000 ha Landwirtschafts- und Waldböden (von total 14'000 ha, Stand 1994) ab. Diese Karte kann gemäss Bericht zur BEK 1:200'000 die Bodeneignung für regional- und raumplanerische Arbeiten genügend detailliert wiedergeben.

Weiter sind Bodenkarten im Massstab 1:12'000 auf 13 Referenzflächen erstellt worden, total 1'500 ha. Für Güterzusammenlegungen wurden für ca. 400 ha Bodenkarten im Massstab 1:5'000 erstellt (Bardonnex, Chaney, Plan-les Ouates, Presinge).

Die Kartierung der Rebbergböden (1400 ha) wurde durch die École d'Ingénieurs de Changins ECI im Massstab 1:7'500 (91 Profile und 850 Bohrungen) zwischen 2004 und 2006 durchgeführt.

Im Kanton Genf werden Reben seit mehr als 1000 Jahren kultiviert, was sich bei den Böden in einer starken Prägung durch den Menschen widerspiegelt (Drainagen, Tiefpflügen, Düngungen, Aufschüttungen, Erosion etc.).

Die Analyse zur Erhellung der historischen Aspekte und der spezifischen Reaktionen der Rebpflanzen erfolgte unter Beizug der betroffenen Win-

	<p>zer. So konnte die Bodenkarte deutlich präzisiert werden.</p> <p>Die angewandte Methode ist eine Annäherung an Legros, die Beschreibungen erfolgen gemäss Baize und Jabiol, die Klassifikation entspricht dem Référentiel pédologique RP.</p> <p>Im Kanton Jura wurden gemäss FAL-Liste 8'782 ha Landwirtschaftsböden im Massstab 1:5'000 kartiert, 623 Profile erhoben und später aufgearbeitet. Weiter sind 270 Bodenprofile im Rahmen von 8 Güterzusammenlegungen in 10 jurassischen Gemeinden angesprochen und später aufgearbeitet worden. Weitere drei Bodenkarten wurden 2008 für Güterzusammenlegungen erstellt.</p>
Akteure	<p>In der Regel sind es die kantonalen Bodenschutzfachstellen, die sich darum bemühen, eine flächendeckende Bodenkartierung zu fördern und auch federführend durchzuführen. Die optimalste Lösung kann durch eine enge Zusammenarbeit mit den Instanzen von Forst- und Landwirtschaft sowie der Raumplanung erreicht werden.</p>
Anleitungen / Wegleitungen	<p>Die Kartierungen erfolgten grundsätzlich gemäss den FAL-Kartieranleitungen für Landwirtschafts- resp. Waldböden. Bei der heute meist zur Anwendung kommenden FAL-Kartierung+ (s. Kap. 3.3) wird das vom Kanton Solothurn erarbeitete Projekthandbuch mit detaillierten Projektabläufen und QS-Vorgaben verwendet, so auch, zum Teil mit kantonsspezifischen Anpassungen, in den Kantonen Luzern, Glarus und Zürich.</p>
Spezifische Literatur	<ul style="list-style-type: none"> · Bodeneignungskarte der Schweiz. Grundlagen für die Raumplanung. EJPD - Bundesamt für Raumplanung, EVD - Bundesamt für Landwirtschaft, EDI- Bundesamt für Forstwesen. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale. Bern. 1980. · Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich. FAL Reckenholz / Volkswirtschaftsdirektion Zürich. 1998 · Bodenkarte des Kantons Zug 1:5'000. Leitfaden für die Benützer der Bodenkarte. AGBA AG Ebikon. Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Umweltschutz. November 1998. · Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn. Amt für Umweltschutz. Berichte Nr. 23. Dezember 1995. · Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. T. Mosimann, P. Herbst. Schweiz Z Forstwes 164 (2013) 1: 10-22. · Bodeninformationssystem des Kantons St.Gallen (BISG), Umwandlung der Eignungskarten in Bodenkarten, Pilotprojekt Gemeinde Ernetschwil. Erläuterungsbericht 26. 7. 2011. Amt für Umwelt und Energie Kanton St. Gallen. · Bodeninformationssystem des Kantons St.Gallen (BISG), Umwand-

	<p>lung der Eignungskarten in Bodenkarten, Handbuch, Version 1, Juli 2012. Amt für Umwelt und Energie Kanton St. Gallen.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Konzept Bodenkartierung Kanton Luzern. Kartieretappe 4 – 2012. Umwelt und Energie (UWE) Luzern, Januar 2012. · Bodenübersichtskarte Kanton Thurgau 1:50000 (BÜK-TG), Schlussbericht. Amt für Umwelt und Amt für Raumplanung des Kantons. Thurgau. September 2005. · Les sols du canton de Genève, M. Gratier, Ph. de Pury. Archs. Sci. Genève Vol. 47 (2): pp. 165 -194, 1994. · Legros J.-P. (1996): Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Collection Gérer l'environnement 10, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. · Baize D. et Jabiol B.(1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.
<p>Bezug zu Kap.: 2.2</p>	

11.4 Fiche d'information 3: IS-CH Infosol Suisse

Inhalt und Resultate

Die Initiative für das Projekt BICH ergriff die Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS nach Vorliegen der Resultate der von ihr durchgeführten „Umfrage Bodenkartierung“ [BGS Dokument 10, 2000]

Im **Projektausschuss** wurden neben der AG-Präsidentin als Projektleiterin auch Vertreter aus dem BAFU, der Informatik, der Qualitätssicherung und der Bodenschutzfachstellen der Kantone eingebunden.

Das Gesamtziel des Projektes Bodeninformation Schweiz BICH wurde folgendermassen definiert:

Die bei verschiedenen Bundesinstitutionen und Kantonen vorhandenen Daten im Bereich Bodendaten sollen gesichert, gesichtet und nutzbar gemacht werden.

Es wurden Konzepte, Grundlagen und Werkzeuge erarbeitet zur Ablage, Verwaltung und Nutzung vorhandener (und neuer) Bodendaten.

Die **Sicherung** der auf Papier archivierten Bodendaten (Profilblätter, Karten) konnte mit relativ geringem finanziellem Aufwand erreicht werden. Die Kosten dieser Sicherung (Erstellen der Profil- und Kartenscans) konnten dank eines Refinanzierungsmodells der Kantone mit dem Kauf der Profilblätter weitgehend rückvergütet werden.

Zur **standardisierten Aufarbeitung der Bodendaten** wurden systemneutrale Werkzeuge und Anleitungen durch das BICH in Zusammenarbeit mit erfahrenen Experten aus Bodenkartierung und Informatik und mit dem Einsatz und Know-how der Kantone entwickelt.

Mit einem abgestuften Finanzierungsmodell beteiligten sich die Bodenschutzfachstellen der Kantone finanziell an den Kosten des Erfassungstools MIGRAPROFIL.

Als Ergebnis eingehender fachlicher Diskussionen zwischen Informatik- und Bodenkartierexperten wurden das **Punkt-Datenmodell BICH03** (Profil) und das **Flächendatenmodell BICH08** erarbeitet.

In der Erfassungssoftware **MIGRAPROFIL** (mit Handbuch) sind verschiedene Erfassungsmasken enthalten, die die Eingabe für die teilweise sehr unterschiedlichen Profilblattgenerationen erlauben. Nebst zahlreichen Auswahl-Codelisten wurden automatische Übersetzungswerkzeuge, Schnelleingabemöglichkeiten, und andere Optimierungen erstellt. Des Weiteren wurde eine Exportschnittstelle programmiert.

Weitere Arbeitshilfen wurden im Laufe der produktiven Nutzung von MIGRAPROFIL durch die Bodenkartier-Experten erstellt, wie **Datenkontrolle** via Access-Datenbank (Kurzanleitung) und **Handbuch** MIGRAPROFIL (bodenkundlicher Teil).

Für die Initiierung und Abwicklung der **durch die Kantone finanzierten Projekte** wurden diverse Arbeitshilfen bereitgestellt:

	<ul style="list-style-type: none"> · Überlegungen zur Ausschreibung von Arbeiten zur Datenerfassung und –aufarbeitung. · Qualitätsmanagement zur Verbesserung resp. Optimierung von Arbeitsabläufen und Sicherstellung der Datenqualität. · Pflichtenheft Kantone für die Erfassung und Aufarbeitung alter Bodenprofilblätter. <p>Durch die Arbeitsgruppe Bodenkartierung wurde im Jahre 2000 ein erstes Konzept für eine BIKS (Informations- und Koordinationsstelle für den Boden) erarbeitet. Diese Idee wurde wieder aufgenommen und im Jahre 2008 wurde im Rahmen von BICH ein Projektantrag an das BAFU für eine BIKS und ein operatives Topic Center ‚Datennutzung Boden‘ (TC-DNB), eingereicht, der aber abgelehnt wurde.</p> <p>Zum Projekt BICH gibt es umfangreiche Unterlagen und Dokumentationen. Ein zusammenfassender Überblick kann anhand der beiden Projektberichte 2003, resp. 2008 gewonnen werden (s. Literatur).</p> <p>Fazit: Im Projekt BICH wurden wichtige Voraussetzungen für die Rettung und koordinierte Aufarbeitung der bestehenden Bodendaten in der Schweiz geschaffen. Der Einsatz von Expertengruppen, bestehend aus Bodenkartier- und Informatikfachleuten in unterschiedlicher Zusammensetzung, hat sich bestens bewährt. Neben dem Bund haben auch die Kantone grosse Leistungen bezüglich der Aufarbeitung von Bodendaten und -karten erbracht.</p> <p>Ausblick: Mit dem Abschluss des Projektes BICH sind zwar die bestehenden Bodendaten in der Schweiz weitgehend gesichert, allerdings wurde nur ein Teil der Bodendaten auch aufgearbeitet. Mit einer konzentrierten Aktion der interessierten Bundesämter und der Kantone werden laufend die noch nicht digitalisierte Bodendaten aufgearbeitet und für die uneingeschränkte digitale Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Dazu dient das neu erstellte Nationale Bodeninformationssystem NABODAT, in welchem der Bund und die Kantone ihre aktuellen als auch über Jahrzehnte erhobenen Bodeninformationen zusammenführen und effizient nutzen können. Die aufbereiteten Daten sollten dann möglichst einem grossen Kreis an interessierten Nutzern zur Verfügung gestellt werden können.</p>
<p>Zeitlicher Ablauf</p>	<p>Vorlauf:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 2000 März: BGS-Tagung ‚Boden-Datenbanken‘. · 2000 Dezember: Sitzung BGS-Vertretung mit Bundesvertretern (BU-WAL, LHG) bezgl. Sicherung der Bodendaten, ohne Resultat. · 2001 März: BGS-Priorisierungspapier für Aufgaben/Funktionen im Zusammenhang mit Sicherung Bodendaten. · 2002: Gründung der Arbeitsgruppe ‚Bodenkartierung Kantone‘ Ziel: Koordination und Zusammenarbeit unter den Kantonen. Entwicklung strategischer Überlegungen in der Frage der Bodendaten und bezüglich der Verteilung der Pflichten zwischen Bund und Kantonen.

	<p>2002: Lancierung des BUWAL-BGS-Projektes ‚Bodeninformation Schweiz BICH‘:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Mai 2002: Darlegung der ungelösten Situation der Bodendaten und – Karten durch BGS-Vertretung vor Plenum der IKUB und BAFU-Direktor Ph. Roch. Auslöser für Schlüsseltreffen zwischen BUWAL, ARE und BGS. · BGS- Antrag ans BUWAL im August 2002, bewilligt mit Fr. 100'000.-, darauf Ausschreibung und Vergabe der Teilprojekte im Dezember 2002. · Durchführung der BGS-Tagung 2003 zu 'Bodendaten und Bodenkarten', organisiert durch BICH Projektausschuss. <p>2003 - 2009: Entwicklung von fachlich-pedologischen und Informatik-Werkzeugen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Zur sicheren und benutzerfreundlichen Archivierung von Bodenprofil- und Bohrdaten (TP1) · Zur Aufarbeitung alter Bodenprofilaten – ‚Technische Anleitung‘ (TP7) · Übersetzungsschlüssel für Profilblattversionen ab 1967 bis BICH03. Gewisse Teile dieses Schlüssels konnten zwecks automatischer Übersetzung in die MIGRAPROFIL Aufarbeitungssoftware eingebaut werden. Einige Parameter (u.a. aggregierte Grössen) müssen, vor allem bei älteren Profilblättern, mit den manuellen Übersetzungsschlüsseln durch ausgewiesene Bodenkartier-Fachleute übersetzt werden. · Entwicklung von Datenmodellen als Ergebnis eingehender fachlicher Diskussionen zwischen Informatik- und Bodenkartierexperten. Die grösste Herausforderung stellte die Desaggregation diverser Bodeneigenschaften (z.B. Vernässung und Gründigkeit) dar. · Punkt-Datenmodell BICH03 (Profildaten) · Flächendatenmodell BICH08 (abgestimmt auf das Punktdatenmodell) · Weitere Werkzeuge für Erfassung, Export, Ablage und Austausch der Bodendaten. <p>2009: Projektabschluss mit Schlussbericht.</p>
Partner	BAFU (Sektionen Umweltbeobachtung und Bodenschutz), Bodenschutz-fachstellen der Kantone, Agroscope Reckenholz.
Anleitungen	<ul style="list-style-type: none"> · Aufarbeitung alter Profildaten-Technische Anleitung (TP7), 2005. Verfasser: M. Zürner (Projektleitung), T. Gasche, A. Pazeller, J. Presler, A. Ruef, <p>für Expertengruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Übersetzungsschlüssel für Profilblattversionen (ab 1967 bis BICH03) · Datenkontrolle via Access-Datenbank (Kurzanleitung)

	<ul style="list-style-type: none"> · Handbuch MIGRAPROFIL (Informatik- und bodenkundlicher Teil). 	
Spezifische Literatur	<ul style="list-style-type: none"> · Schlussbericht BI-CH 2003 Ziele und Ergebnisse, Synthese, Ausblick, Perspektiven, Umsetzungskonzept, 2004. Verfasserin: M. Knecht. · Sichere und benutzerfreundliche Archivierung von Bodenprofil- und Bohrdaten (TP1), 2004. Verfasser: A. Pazeller, A. Ruef, M. Petrasek. · Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden (TP3), 2004. Verfasser: C. Lüscher · Datenmodell BI-CH 03 (TP5), Bericht, 2004. Verfasser: C. Eisenhut. (Originalbericht) · Aufarbeitung alter Profildaten - Technische Anleitung (TP7), 2005. Verfasser: M. Zürner, T. Gasche, A. Pazeller, J. Presler, A. Ruef, · Aufarbeitung alter Bodenkarten – Technische Anleitung (TP10), 2010. Verfasser: J. Presler, E. Bräm, T. Gasche, A. Ruef, M. Zürner. · Projektstands-Bericht der Projektleitung per Ende 2008 (Schlussbericht); Februar 2009. Verfasserin: M. Knecht <p>BGS-Publikationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Umfrage Bodenkartierung (vor BICH-Projekt). Dokument Nr. 10, 2000. · Bodeninformation Schweiz BICH-Schlussbericht 2003. Dokument Nr. 14, 2004. 	
Website	www.infooil.ch	
Bezug zu Kap.: 2.4		

11.5 Fiche d'information 4: NABODAT

Beschreibung	<p>NABODAT ist das neu erstellte Nationale Bodeninformationssystem, in welchem der Bund und die Kantone ihre aktuellen als auch über Jahrzehnte erhobenen Bodeninformationen zusammenführen und effizient nutzen können.</p> <p>Das Bodeninformationssystem wird auf einem zentralen Server mehrsprachig betrieben und über ein Webinterface mit intuitiver graphischer Oberfläche bedient. Damit sind die Bodendaten jederzeit auf jedem Computer mit Internet-Anbindung erreichbar und können importiert, erfasst, verwaltet, abgefragt und exportiert werden. Nebst der Speicherung der Bodendaten können zugehörige Dokumente und Bilder in NABODAT angefügt werden.</p> <p>Für die GIS-Anbindung von NABODAT stellt ein Web Feature Service (WFS) die raumbezogenen Daten im Internet bereit. Mit allen lokalen GIS-Clients, die fähig sind WFS zu lesen, kann so auf die Standortinformationen inklusive nahezu aller thematischen Attribute zugegriffen werden.</p> <p>Das Datenmodell von NABODAT versucht möglichst alle Bedürfnisse von Bund und Kantonen hinsichtlich Bodendaten abzudecken, d.h. es können nicht nur Profildaten verwaltet werden, sondern auch Bodendaten aus Schadstoffuntersuchungen, UVP, oder Bodendaten der Bodendauerbeobachtung. Da jedoch nicht immer nationale Referenzgrundlagen vorliegen, sondern verschiedene Datenmodelle und auch Analysemethoden in der Schweiz verwendet werden, ist die Harmonisierung der Daten in NABODAT eine grosse fachliche Herausforderung. Das NABODAT Datenmodell integriert die Punktdatenmodelle vom Projekt BICH, der kantonalen BODAT und der NABODAT 05 Version.</p> <p>Die Datenherrschaft der Bodendaten bleibt bei den Kantonen; mit dem Mandantensystem in NABODAT sind die Zugriffsrechte streng geschützt. Der Zugriff auf NABODAT ist ausschliesslich den Mandanten (Kanton, Bundesamt, etc.) vorbehalten. Pro Mandant können diverse Benutzer angelegt werden, die wiederum sehr fein granular mit individuellen Berechtigungen (Rollen) ausgestattet sein können. Eine Rolle ist z.B. die Berechtigung Standortinformationen zu erfassen (Standort-Write). Die Daten der jeweiligen Mandanten sind streng geschützt. Jeder Mandant sieht prinzipiell nur seine eigenen Daten. Durch ein Freigabesystem wird es jedoch möglich, Daten auch anderen Mandanten sichtbar zu machen. Diese Einsichtnahme beinhaltet kein Nutzungs- oder Publikationsrecht. Für ein solches Vorhaben muss die Genehmigung der Datenherrschaft (Mandant) eingeholt werden.</p>
Organisation	<p>Der NABODAT-Verbund setzt sich aus Bundesämtern und kantonalen Behörden zusammen. Grundlage der Zusammenarbeit bildet eine schriftliche Vereinbarung, in der die allgemeinen Bestimmungen zum NABODAT-Verbund zwischen dem BAFU als Projektleitung und den</p>

	<p>Kantonen als Mandanten geregelt sind. Der Verbund organisiert sich in vier Gruppen:</p> <p>Steuerungsgruppe NABODAT</p> <p>Die Steuerungsgruppe vertritt das Projekt NABODAT gegenüber den politischen Instanzen und ist zuständig für die strategische Planung des Verbundes. Sie setzt sich zusammen aus kantonalen Vertretern und Vertretern von BAFU, ARE, BLW und ART.</p> <p>Projektleitung</p> <p>Die Projektleitung liegt beim BAFU. Als Schnittstelle zwischen der technischen und der planerischen Ebene übernimmt sie die Koordination zwischen den Mandanten und der Servicestelle NABODAT und ist federführend bei der Erstellung der Verträge und der Kommunikation nach aussen.</p> <p>Servicestelle NABODAT</p> <p>Die Servicestelle NABODAT ist der NABO (ART) angegliedert und leistet fachliche und technische Unterstützung. Die Servicestelle ist verantwortlich für:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fragen zur Bedienung von NABODAT · Entgegennehmen von Wünschen und Anforderungen · Bereitstellung der für die Webapplikation zugehörigen Dokumentationen (Anwenderhandbuch, Glossar, etc.) und das Führen der globalen Stammdaten (Codelisten, Partner, Verordnungen) · Durchführung von Datenmigrationsprojekten · Schulungen · Weiterentwicklungen (Detailkonzepte, Testen) · Entgegennehmen von Anfragen zu Bodendaten <p>AG NABODAT</p> <p>Die Arbeitsgruppe NABODAT ist ein Gremium für den Erfahrungsaustausch, das sich aus aktiven Nutzern von NABODAT, der Projektleitung und der Servicestelle NABODAT zusammensetzt. In regelmässigen Treffen werden unter anderem Tipps und Tricks im Umgang mit NABODAT ausgetauscht, Wünsche zur Weiterentwicklung priorisiert und notwendige Erweiterungen der Stammdaten diskutiert.</p>
<p>Zeitlicher Ablauf</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 2003-2004: Machbarkeitsstudie NABODAT · 2005: Erstellung Datenmodell · 2005-2008: Projektantrag an BAFU, Detailspezifikation, WTO-Ausschreibung · 2009-2011 Technische Entwicklung der Web-Applikation mit GIS-Anbindung, Einbezug einer kantonalen Testgruppe · ab 2012: Beginn Betriebsphase, Digitalisierung und Migration von Bodendaten, Aufbau einer Homepage, Servicestelle NABODAT, AG NABODAT, Schulungen, Technische Weiterentwicklungen · 2013/2014: Technische Weiterentwicklung für die Implementierung

	von Flächendaten
Stand und Ausblick	<p>Nach erfolgreichem Abschluss der Entwicklungsphase hat der Aufbau des NABODAT-Verbundes zurzeit höchste Priorität. Seit 2011 laufen bereits für mehrere Mandanten Migrationsprojekte.</p> <p>Da die digital verfügbaren Bodendaten bei Bund und Kantonen in zahlreichen Datenmodellen und Datenformaten vorliegen, bietet die Servicestelle NABODAT den Mandanten die aufwendige fachliche und technische Übersetzung dieser Daten für einen Import in NABODAT an. Neben inhaltlichen Erläuterungen, der Ergänzung von Metainformationen, der Vervollständigung der NABODAT-Pflichtfelder ist jedoch der Input vom Mandanten für Entscheidungen in Zweifelsfällen notwendig. Zur späteren Dokumentation der Bodendaten ist es insbesondere erforderlich die verwendeten Methoden zur Analyse der Bodenmessungen zu recherchieren, diese wurden oftmals nicht als Metainformation digital erfasst.</p> <p>Die ersten Kantone nutzen seit Mitte 2012 NABODAT teilweise oder vollumfänglich als eigenes Bodeninformationssystem.</p> <p>Parallel dazu läuft die technische Weiterentwicklung von NABODAT. Neben der Verwaltung von Punktinformationen soll ab 2014 auch die Integration von Flächendaten möglich sein.</p>
Website	www.nabodat.ch
Bezug zu Kap.: 2.5	

11.6 Fiche d'information 5: DSM Digital Soil Mapping

Beschreibung

Die Review-Artikel von McBratney et al. (2003) und Scull et al. (2003) geben einen guten Überblick, was unter dem Begriff *digital soil mapping* (DSM, von Scull et al. als *predictive soil mapping* bezeichnet) gemeint wird. Hier soll nur eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ingredienzen eines DSM Projekts gegeben werden:

1. **Definition der zu kartierenden Bodeneigenschaften** (inkl. Einheiten eines pedologischen Klassifikationssystems), im Folgenden als **Zielgrößen** bezeichnet.
2. **Zusammenstellung aller räumlich flächendeckend verfügbaren Informationen über die Bodenbildungsfaktoren** im zu kartierenden Gebiet, im Folgenden als **Kovariablen** bezeichnet. Kovariablen können einerseits kontinuierlich variierende (z.B. tan (Hangneigungswinkel)) oder kategoriale Variablen sein (z.B. Kartierungseinheiten einer geologischen Karte). Weitere Kovariablen können durch Verknüpfung von Kovariablen abgeleitet werden (z.B. tan (Hangneigungswinkel) für Kartierungseinheit xy einer geologischen Karte mit Wert gleich Null für alle anderen Kartierungseinheiten). Solche Interaktionen erlauben nichtlineare und räumlich nicht-stationäre Abhängigkeiten zwischen Zielvariablen und Kovariablen zu modellieren. Neben den klassischen Bodenbildungsfaktoren (Klima, Relief, Alter, Organismen, Muttergestein) schlagen McBratney et al. (2003) auch vor, digital verfügbare Bodenkarten als Kovariablen zu berücksichtigen.
3. **Wahl der Standorte, an welchen die Zielgrößen erhoben werden sollen**, unter Berücksichtigung der Variation der Kovariablen im zu kartierenden Gebiet.
4. **Erhebung der Zielgrößen im Feld**. Alternativ zu 3. und 4. werden oft sogenannte legacy soil data aus früheren Studien verwendet.
5. **Modellierung der Zusammenhänge zwischen den Zielgrößen und Kovariablen mit statistischen Regressionsmodellen**. Darunter werden sowohl lineare Regressionsmodelle wie auch Modelle verstanden, welche nichtlineare Abhängigkeiten von Zielgrößen und Kovariablen abbilden (z.B. additive Modelle GAM oder Klassifikations- und Regressionsbäume CART, siehe McBratney et al., 2003, für üblicherweise verwendete Ansätze, und Hastie et al., 2011, für eine gute Übersicht über moderne Regressionsmethoden). Weiter werden hier unter dem Begriff Regressionsmodell auch die geostatistischen und geo-additiven Modelle (Kamman und Wand, 2003) subsummiert, welche nicht voraussetzen, dass die residualen Fehler der Modelle (= Differenzen zwischen Messwerten und gefitteten Werten) räumlich unabhängig sein müssen. Eine schwierige Aufgabe bei der statistischen Modellierung besteht

darin, aus der möglicherweise **sehr grossen Anzahl von Kovariablen ein möglichst kleines Set zu selektionieren**, welches erlaubt, **die räumliche Verteilung der Zielgrössen mit möglichst grosser Genauigkeit zu modellieren**. Die Qualität eines statistischen Modells sollte nicht anhand der Güte des Fit an die für die Modellanpassung verwendeten Daten beurteilt werden, sondern anhand der Güte, mit welcher das Modell in einer Kreuzvalidierung (Hastie et al., 2011, Kapitel 7) die für die Modellanpassung nicht verwendeten Teile der Daten vorherzusagen vermag. Neben der Genauigkeit der Vorhersagen sollte mit der Kreuzvalidierung auch überprüft werden, wie genau das Modell die statistischen Eigenschaften der Vorhersagefehler prognostizieren kann.

6. **Berechnung von Vorhersagen der Zielgrössen für ein Gitter von Punkten, welches über das zu kartierende Gebiet gelegt wird.**

Für jeden Gitterpunkt müssen die Werte der Kovariablen bekannt sein, die in der statistischen Datenanalyse ausgewählt worden sind, um mit dem statistischen Modell eine Vorhersage berechnen zu können. Die Maschenweite des Vorhersagegitters richtet sich nach der gewünschten Verwendung der Karte der Zielgrösse und nach der räumlichen Auflösung der verwendeten Kovariablen. **Zwar bezieht sich eine Vorhersage grundsätzlich immer auf den gleich grossen Flächenausschnitt (= Support) wie bei der Erhebung der Zielgrösse im Feld verwendet** (in den meisten Anwendungen „Punktsupport“), **der räumliche Detaillierungsgrad der Karte der Zielgrösse wird aber durch die räumliche Auflösung der Kovariablen bestimmt**. Wird z.B. die Arealstatistik der Schweiz als Kovariable verwendet, welche die Bodennutzung auf einem Raster mit 100 m Maschenweite wiedergibt (und einen Support von 625 m² für deren Beurteilung verwendet), dann kann zwar ein feinmaschigeres Gitter für die Berechnung der Vorhersagen der Zielgrösse verwendet und jedem Punkt des Vorhersagegitters die Bodennutzung des nächst gelegenen Stichprobenpunkt der Arealstatistik zugeordnet werden. Man setzt dann aber implizit voraus, dass die Bodennutzung in einer quadratischen Fläche von 1 ha um jeden Stichprobenpunkt der Arealstatistik konstant ist, was in Wirklichkeit natürlich nicht zutrifft. Wenn räumliche Mittelwerte über grösseren Support vorhergesagt werden sollen, als bei der Aufnahme der Zielgrösse im Feld verwendet worden ist, sollten geostatistische Block Kriging Methoden (oder deren diskrete Approximation) verwendet werden (z.B. Nussbaum et al. 2012), welche die Vorhersage von Flächenmittelwerten aus „Punktmessungen“ erlaubten.

7. **Erhebung von zusätzlichen Daten über die Zielgrössen** (Standorte sollten bevorzugt nach einem randomisierten Stichprobenplan gewählt werden, vgl. Brus et al., 2011) zur Validierung der statistischen Vorhersagen der Zielgrössen.

Digitale Kartierung von Bodeneigenschaften wird oft kombiniert mit einer daran anschliessenden Evaluation des Potentials der Böden für bestimmte Bodenfunktionen (soil functional maps, *digital soil as-*

	<p>essment DSA, Carré et al, 2007) ,welche ihrerseits von <i>digital soil risk assessment</i> DSRA gefolgt wird (Carré et al, 2007).</p>
<p>Bisherige CH -Projekte</p>	<p>Bisher sind die praktischen Erfahrungen in DSM und DSA in der Schweiz sehr beschränkt.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Steiner et al. (2006) führten im Einzugsgebiet des Murtensees eine Pilotstudie durch, um zu prüfen, ob mit Daten aus alten Bodenkartierungsprojekten die benötigte räumliche Bodeninformationen zur Abgrenzung von Pufferzonen um Gewässer modelliert werden kann. · Rehbein & Keller (2007a, b) kartierten für den Kanton Thurgau mittels External-Drift Kriging die Schwermetallkonzentrationen im Oberboden. · Herbst & Mosimann (2010) verwendeten Random Forest, um Skelettgehalt und Gründigkeit von Waldböden in Kanton Basel-Landschaft zu kartieren. · Auf nationaler Skala ist die Arbeit von Nussbaum et al. (2012) bisher die einzige DSM Studie. Basierend auf Daten über rund 1000 Waldbodenprofile wurden die organischen Kohlenstoffvorräte (C_{org}) in Waldböden geostatistisch kartiert und mit External-Drift Block Kriging Schätzungen der mittleren C_{org}-Vorräte für die nach Meereshöhe stratifizierten Produktionsregionen des Landesforstinventars berechnet.
<p>Spezifische Literatur</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Brus, D. J.; Kempen, B. & Heuvelink, G. B. M. 2011. Sampling for validation of digital soil maps. <i>European Journal of Soil Science</i>, 62, 394–407. · Carré, F.; McBratney, A. B.; Mayr, T. & Montanarella, L. 2007. Digital soil assessments: Beyond DSM. <i>Geoderma</i>, 142, 69–79. · Hastie, T.; Tibshirani, R. & Friedman, J. 2009. <i>The Elements of Statistical Learning; Data Mining, Inference and Prediction</i>. Springer Verlag. · Herbst, P. & Mosimann, T. 2010. Prognose ökologisch wichtiger Waldbodeneigenschaften mit Random Forest in der Nordwestschweiz. <i>Geomatik Schweiz</i>, 108, 140–144 · Kammann, E. E. & Wand, M. P. 2003. Geoadditive Models. <i>Applied Statistics</i>, 52, 1–18. · McBratney, A. B.; Mendonça Santos, M. L. & Minasny, B. 2003. On Digital Soil Mapping. <i>Geoderma</i>, 117, 3–52. · Nussbaum, M.; Papritz, A.; Baltensweiler, A. & Walthert, L. 2012. Organic Carbon Stocks of Swiss Forest Soils. Institute of Terrestrial Ecosystems, ETH Zürich and Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL), http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:6027/eth-6027-01.pdf · Rehbein, K. & Keller 2007a. Räumliche Interpolation von Zinkgehalten in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agros-

	<p>cope Reckenholz-Tänikon ART.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Rehbein, K. & Keller, A. 2007b. Grossräumige Schwermetallgehalte in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. · Scull, P.; Franklin, J.; Chadwick, O. A. & McArthur, D. 2003. Predictive Soil Mapping: A review. Progress in Physical Geography, 27, 171–197. · Steiner, C.; Behrens, T.; Telse, D. & Stamm, C. 2006. Bodenkarten als Grundlagen für die Festlegung des Zuströmbereichs Z₀. Eine Machbarkeitsstudie. EAWAG. 	
<p>Bezug zu Kap.: 3.4</p>		

11.7 Fiche d'information 6 : Principes de garantie de qualité

<p>Qualität</p> <p>Qualitätssicherung</p> <p>Methodik</p>	<p>Grundsätzliches</p> <ul style="list-style-type: none">· Für die Bodenkartierung, die als Prozessergebnis Bodenbasis-Daten mit einer sehr langen Lebenserwartung generiert, entscheidet deren Qualität über alle davon abgeleiteten Produkte.· Die Definition der Datenbeschaffung muss methodenkonform und personenunabhängig sein. Zu diesem Zweck sind bei jeder Bodenkartierung ausreichende Massnahmen zur Qualitätssicherung zu ergreifen. <p>Qualität, Qualitätssicherung und Methodik⁵⁹</p> <p>In allgemeiner Form definiert, gibt die Qualität an, in welchem Masse ein Produkt den zuvor definierten Anforderungen entspricht.</p> <p>Auf die Bodenkartierung bezogen, bezieht sich die Qualität auf bestimmte zu erhebende Daten, beziehungsweise auf das Vorgehen, wie diese Daten im Feld gewonnen und danach weiterverarbeitet werden.</p> <p>Als bodenkartierungsspezifische Anforderungen gelten:</p> <ul style="list-style-type: none">· gleichbleibende, hohe Qualität und Vergleichbarkeit der Bodendaten, auch in langjährigen Projekten, d.h. los- und etappenübergreifend.· Vielfältig einsetzbare, gesicherte Rohdaten, d.h. weit möglichst unter Vermeidung von Aggregationen und/oder Klassifizierungen. <p>Die Qualitätssicherung (QS) ist die Summe der geplanten systematischen Tätigkeiten, die gewährleisten, dass das vorgegebene Qualitätsniveau erreicht wird.</p> <p>Die QS erstreckt sich auf alle relevanten Tätigkeiten und alle involvierten Akteure des Gesamtprozesses ‚Bodenkartierung‘, d.h. von der Projekt- und Kartierungsplanung über den ganzen Kartierungsprozess i.e.S. über das Datenmanagement bis zur Produktgestaltung.</p> <p>Akteure sind (am Beispiel des Bodenkartierungsprojektes Solothurn) der Auftraggeber, das Projektmanagement, die beauftragten Bodenkartierfachleute, die für die Datenverarbeitung Verantwortlichen und die speziell für die QS engagierten Experten.</p> <p>Jedes Bodenkartierungs(teil-)projekt ist durch ein Prozessablaufschema eindeutig definiert mit den für jeden Schritt konkret</p>
--	---

⁵⁹ Diese Ausführungen und nachfolgenden Abbildungen stützen sich auf das interne Dokument „Projekthandbuch. Bodenkartierung Kanton Solothurn“. © Amt für Umwelt Kanton Solothurn.

	<p>bezeichneten Beteiligten und Verantwortlichkeiten und den zu beachtenden Qualitätsaspekten, die in Form von definierten, qualitätsentscheidenden Prozessen (Q xy) überwacht, allenfalls korrigiert und in den zugehörigen Formularen protokolliert werden (F xy). Für verschiedene Prozesse stehen Checklisten (C xy) zur Verfügung.</p>
<p>Beispiel</p>	<p>Die folgenden zwei Seiten zeigen beispielhaft einen Ausschnitt aus dem Prozessablaufschema (auf der ersten Seite) mit dem eigentlichen Fließdiagramm (links); rechts daneben in den Spalten die jeweiligen Verantwortlichkeiten der Akteure, weitere Hinweise zum Informationsfluss und allfällige Dokumente und die Nummerierung des qualitätsentscheidenden Prozesses (Q xy) mit dem entsprechenden Protokoll (F xy).</p> <p>Ein Beispiel für ein solches Protokoll ist auf der zweiten nachfolgenden Seite.</p>
<p>Bezug zu Kap.: 3.7</p>	

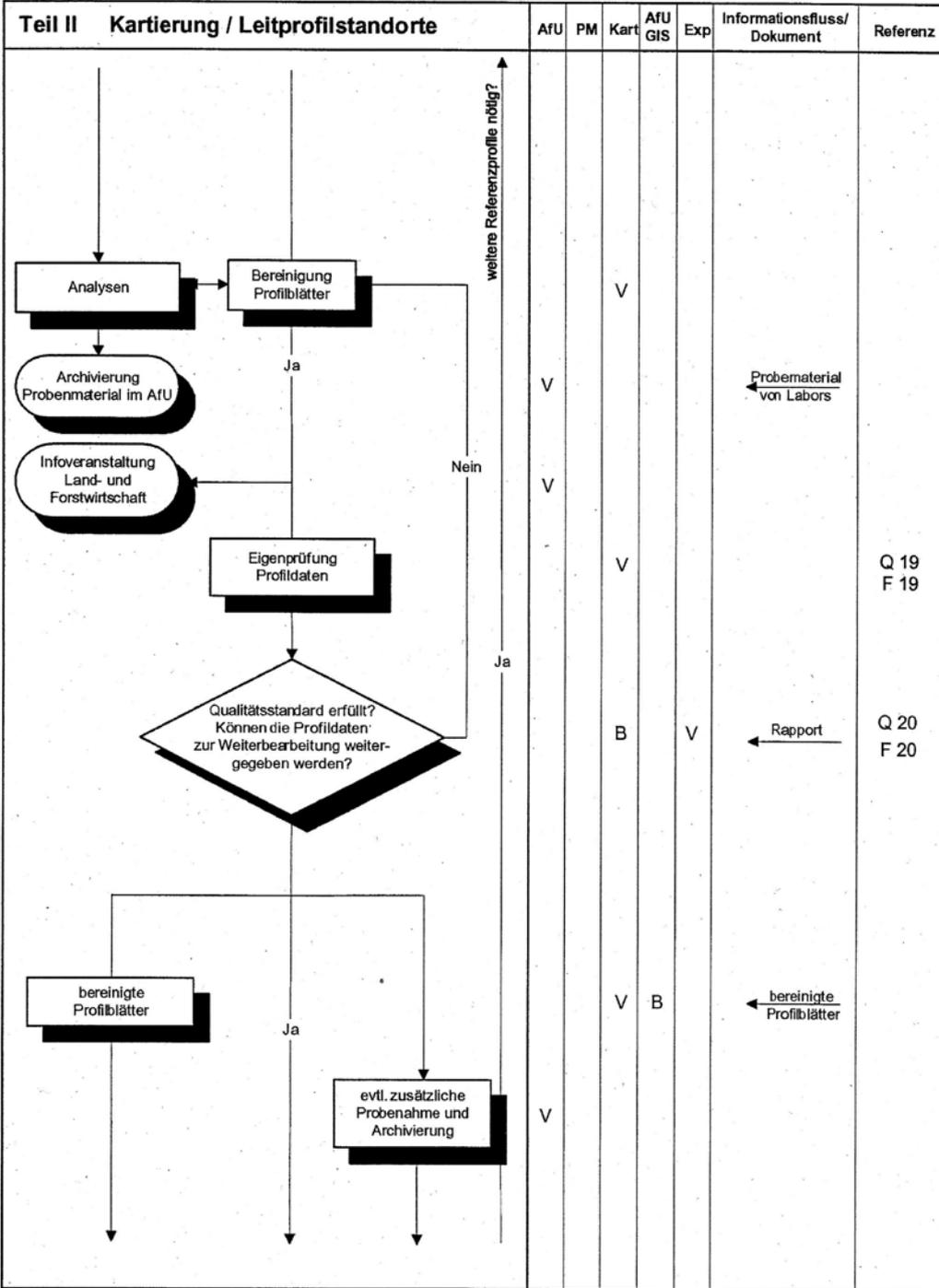


Abb: Beispiel eines Prozessablaufschemas

**Teil II Kartierung / Leitprofilstandorte****Formulare****F 20 Qualität Profilansprache**

Teilprojekt/Perimeter:

Datum:

Profilnummer:

Die Bezeichnungen entsprechen der FAL/BGS-Klassifikation

ja / nein

Diskussionspunkte:

Tiefe	Bezeichnung	Argumentation*	Folgerung
-------	-------------	----------------	-----------

Typ/Untertypen

Argumentation*

Folgerung

Profilnummer:

Die Bezeichnungen entsprechen der FAL/BGS-Klassifikation

ja / nein

Diskussionspunkte:

Tiefe	Bezeichnung	Argumentation*	Folgerung
-------	-------------	----------------	-----------

Typ/Untertypen

Argumentation*

Folgerung

Profilnummer:

Die Bezeichnungen entsprechen der FAL/BGS-Klassifikation

ja / nein

Diskussionspunkte:

Tiefe	Bezeichnung	Argumentation*	Folgerung
-------	-------------	----------------	-----------

Typ/Untertypen

Argumentation*

Folgerung

Unterschrift Expertin/Experte:

Verteiler:

- Kartiererin/Kartierer
- Projektmanager/Projektmanagerin

* Die Argumentation stützt sich ausschliesslich auf die FAL/BGS-Klassifikation, auf Erfahrungen benachbarter Lose und bisherige Kartierungen im Kanton Solothurn

Abb.: Beispiel eines Formulars (F 20) zur Protokollierung der Überprüfung des geforderten Qualitätsstandards „Qualität Profilansprache“.

12 Termes

12.1 Cartographie en général	
Carte	<p>Une carte est une image en un seul plan (carte topographique) de la terre (ou de parties de la terre) ou de tout autre corps céleste, présentée à échelle réduite, simplifiée (généralisée), complétée et expliquée du point de vue du contenu. Il s'agit généralement d'une représentation analogique sur papier ou autre support durable. Cependant, les développements techniques permettent également des représentations cartographiques à court terme sur écran, etc.</p> <p>Une carte offre une représentation fidèle des faits en matière de la situation et de la position. Elle présente un modèle structuré et lié à l'échelle de rapports spatiaux et d'objets dans un plan horizontal. [S.2]⁶⁰</p> <p>Une carte est une représentation globale et une abstraction intellectuelle de la réalité géographique, devant être communiquée pour une ou plusieurs raisons. A cet effet, les données géographiques pertinentes sont transformées en un produit final visuel, numérique ou pouvant être tâté. [S.2]⁶⁰</p>
Cartes thématiques	<p>Elles visualisent divers énoncés techniques ou thèmes d'ordre spatial, sans devoir être interprétées comme une représentation de la surface terrestre. Les cartes comprenant des lignes de valeurs numériques identiques (p.ex. isohypses, isothermes, isobares, isohyètes, isochrones), les cartes de densité de la population, les cartes économiques et routières ne sont pas des images de la nature. Une représentation fidèle de la situation doit toutefois être garantie. Classification générale des cartes thématiques liée au sujet traité aux principes de représentation et aux échelles :</p> <ol style="list-style-type: none">1. cartes analytiques et synthétiques,2. cartes sources primaires et secondaires,3. cartes concrètes et abstraites,4. cartes inductives et déductives,5. représentation de faits inaltérables et altérables,6. représentation de faits limités et de faits répartis de manière continue,7. cartes et cartogrammes,8. cartes à grande et à petite échelle,9. cartes individuelles, ouvrages cartographiques, atlas [S.2]⁶⁰.

⁶⁰ La source de chaque terme se trouve sous [S.x] dans le chapitre 12.4

12.2 Cartographie des sols et cartes pédologiques	
Cartographie des sols	<p>La cartographie des sols est un inventaire systématique de l'ensemble d'un sol. [S.5]⁶⁰</p> <p>La cartographie des sols est un enregistrement, une cartographie et une description de l'inventaire des sols sous forme de carte. [S.4]⁶⁰</p>
Carte des sols	<p>Une carte pédologique est un document en deux dimensions, sur papier ou sur un autre type de support, fournissant, avec un coefficient de réduction élevé, une image simplifiée de l'organisation spatiale des sols dans le milieu naturel. [S.3]⁶⁰</p> <p>De manière générale, les cartes des sols reproduisent les aspects pédologiques de la structure spatiale des sols, jusqu'à une profondeur maximale de 1-2 m en dessous de la surface du terrain. Elles décrivent la caractérisation systématique, la succession verticale de la genèse et de la composition des substrats, les matériaux propres à la pédogenèse ainsi qu'un grand nombre de propriétés physiques et chimiques (caractéristiques des substrats). Les sols ainsi caractérisés sont regroupés en unités pédologiques. [S.5]⁶⁰</p> <p>Les cartes des sols illustrent la répartition spatiale des sols en fonction de leur structure et de leurs propriétés. Les sols sont décrits dans les légendes correspondantes et éventuellement dans des cahiers explicatifs. L'échelle et le contenu de cartes des sols sont déterminés par l'objectif à remplir et la problématique à aborder. Elles sont élaborées moyennant l'enregistrement et la description de sols à l'aide de fosses pédologiques et de forages. Ces informations ponctuelles sont converties en informations de surface et représentées sous forme d'unités pédologiques de contenu comparable ou, selon l'échelle, de contenu pour le moins semblable. [S.5]⁶⁰</p> <p>En raison de ses propriétés naturelles de filtre, tampon, régénérateur et milieu pour les plantes, le sol joue un rôle central dans l'espace naturel. Ainsi, la carte des sols est une carte de base de haute valeur quant aux informations qu'elle fournit.</p> <p>Les cartes des sols renseignent sur les conditions pédologiques d'une région donnée ou d'un territoire particulier. Elles contiennent, outre les propriétés importantes des sols, des indications concernant les matériaux de départ (matériau parental), substrat), les processus de développement des sols ou la classification. [S.6]⁶⁰</p>
12.3 DSM Cartographie et cartes numériques des sols	
Cartographie numérique des sols, généralités	<p>La cartographie numérique des sols (digital soil mapping, DSM) est la production assistée par ordinateur de cartes numériques des types de sols et des propriétés pédologiques. Cette production implique l'utilisation de modèles statistiques de régression reliant données pédologiques et informations au sujet de la pédogenèse. [S.1, modifiée selon A. Papritz]</p>

<p>Cartographie numérique des sols, approche classique</p>	<p>On distingue plusieurs modèles différents :</p> <ul style="list-style-type: none"> · « Data-Mining » : Basées sur des « données d'apprentissage » et des règles prédictives (organigramme de décision), les valeurs estimatives pour les propriétés pédologiques sont déterminées moyennant de multiples régressions. Méthode souvent liée à des applications SIG. · Méthode géostatique : Outre la méthode prédictive (cf. ci-dessus), il est également tenu compte des corrélations spatiales des données pédologiques moyennant une méthode améliorée du kriging. · Méthode du cartographe des sols : Les fonctions de modélisation sont combinées avec le savoir du cartographe des sols connaissant bien la région, puis améliorées. De telles méthodes « hybrides » sont souvent utilisées en combinaison avec le data-mining ou avec des modèles géostatiques, en incorporant les données issues de cartes pédologiques numériques déjà disponibles. [S.1]⁶⁰
<p>Evaluation numérique des sols</p>	<p>L'évaluation numérique des sols (digital soil assessment, DSA, Carré et al., 2007) est l'évaluation assistée par ordinateur des fonctions pédologiques. Dans ce contexte, il est souvent fait usage de fonctions de pédotransfert.</p> <p>Les fonctions de pédotransfert sont un système de règles d'experts ou de modèles statistiques de régression se servant de facteurs pédologiques faciles à mesurer (sous forme de covariables), dans le but d'en déduire des propriétés des sols qui sont difficilement ou qu'indirectement mesurables (grandeurs cibles).</p>
<p>Modèle de régression</p>	<p>Un modèle de régression décrit une relation statistique entre une valeur cible (variable dépendante) et une ou plusieurs covariables (variables indépendantes).</p> <p>Un modèle de régression sert à décrire quantitativement la relation entre la valeur cible et les covariables, et à énoncer des prédictions pour la valeur cible moyennant les valeurs des covariables. En général, il n'est pas possible d'interpréter causalement la relation modélisée entre la variable cible et les covariables, car, dans la plupart des cas, le modèle de régression est développé avec des données d'enquête puis adapté aux données. Dans cette situation, on ne peut exclure que la dépendance observée entre les valeurs cibles et les covariables repose sur des dépendances entre valeurs cibles/covariables et variables tierces non collectées.</p>
<p>Carte numérique des sols</p>	<p>Une carte numérique des sols est une visualisation d'informations spatiales extensives, disponibles sous forme numérique, et se rapportant à des propriétés pédologiques et/ou des unités d'un système de classification des sols déduites ou résultant de mesures directes. Ce terme est également utilisé pour les cartes des sols 'classiques' ayant été digitalisées. [S.1]⁶⁰</p>

12.4 Sources	
12.5	<p>S. 1 Traduite et partiellement abrégée de : Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.</p> <p>S. 2 Universität Rostock: Lexikon Geoinformatik-Service der Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG) online auf http://www.geoinformatik.uni-rostock.de</p> <p>S.3 Legros J.-P. (1996) : Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Collection Gérer l'environnement 10, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.</p> <p>S.4 Hintermaier-Erhard G., Zech W. (1997) : Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.</p> <p>S.5 Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005) : Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.</p> <p>S.6 OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996): MANUEL Cartographie des sols forestiers. Rédaction: Ruef A. et Peyer K.; Traduction: Bonnard L.-F., Station fédérale de recherches agronomiques FAP, Reckenholz, Zurich. Editeur: OFEFP, Berne.</p>