

**Neue Lebensräume auf dem Dach :
Möglichkeiten der Extensivbegrünung =
Nouveaux cadres de vie sur le toit : possibilités
de la végétalisation extensive = New habitats
on the roof : the possibilities for the provision
of extensive verdure**

Autor(en): **Kolb, W. / Schwarz, T.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Anthos : Zeitschrift für Landschaftsarchitektur = Une revue pour le
paysage**

Band (Jahr): **25 (1986)**

Heft 1: **Grüne Dächer und Wände = Toits et murs verts = Green roofs and
walls**

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-136068>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Neue Lebensräume auf dem Dach – Möglichkeiten der Extensivbegrünung

Dr. W. Kolb, Landwirtschaftsoberrat
T. Schwarz, Landwirtschaftsamtmann
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim/Würzburg

Nouveaux cadres de vie sur le toit – Possibilités de la végétalisation extensive

Dr. W. Kolb, Landwirtschaftsoberrat
T. Schwarz, Landwirtschaftsamtmann
Centre bavarois de viticulture et d'horticulture, Veitshöchheim/Würzburg

New habitats on the roof – The possibilities for the provision of extensive verdure

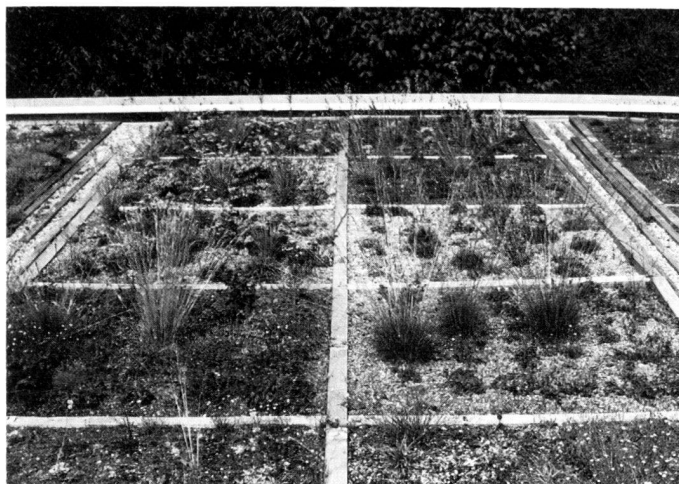
Dr. W. Kolb, Landwirtschaftsoberrat
T. Schwarz, Landwirtschaftsamtmann
Bavarian State Institute for Viticulture and Horticulture, Veitshöchheim, Würzburg

Abb. 1, links: Aufbau einer Versuchsfläche mit verschiedenen Substraten.

Abb. 2, rechts: Teilbereich der Versuchsfläche Abb. 1 in der zweiten Vegetationsperiode.

Fig. 1, à gauche: Une surface expérimentale comprenant divers substrats en pleine phase de réalisation.

Fig. 2, à droite: Vue partielle de la surface expérimentale de la fig. 1 lors de sa deuxième phase de végétation.



Wohnbebauung, Industrie-, Verwaltungs- und Verkehrsbauwerke haben die Lebensräume für Pflanzen und Tiere stark eingeschränkt. Aus ökologischen und ästhetischen Gründen muss deshalb jede Gelegenheit genutzt werden, im Siedlungsgebiet Renaturierungsmassnahmen durchzuführen.

Die nachträgliche Begrünung von Flachdächern bietet die Gelegenheit, ökologisch ungenutzte und nahezu kostenlos verfügbare Flächen für naturnahe Pflanzengemeinschaften zurückzugewinnen. Seit etwa 6 Jahren wird deshalb im Rahmen von Versuchen an der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim/Würzburg, an diesen Fragen gearbeitet. Einige Erkenntnisse aus diesen Arbeiten werden nachfolgend vorgestellt.

Tragfähigkeit der Dächer

Der überwiegende Anteil der Flachdächer ist mit einer etwa 5 cm dicken Kiesabdeckung versehen, die einer Auflast von zirka 100 kg/m² entspricht. Diese Tragfähigkeit muss als Orientierungswert für das System der Extensivbegrünung angesehen wer-

Les constructions d'habitations, industrielles, administratives et routières ont considérablement restreint le cadre de vie des plantes et des animaux. C'est pourquoi, pour des raisons écologiques et esthétiques, il faut saisir toutes les occasions possibles pour prendre des mesures de rétablissement de la nature dans les zones d'habitat.

La végétalisation ultérieure des toits plats offre la possibilité de récupérer des surfaces écologiquement inutilisées, pour ainsi dire à disposition gratuitement pour y établir des communautés de plantes proches de la nature. Au Centre bavarois de viticulture et d'horticulture de Veitshöchheim/Würzburg, cette question fait l'objet d'essais depuis près de 6 ans. Quelques résultats de ces travaux sont présentés ci-après.

Force portante des toits

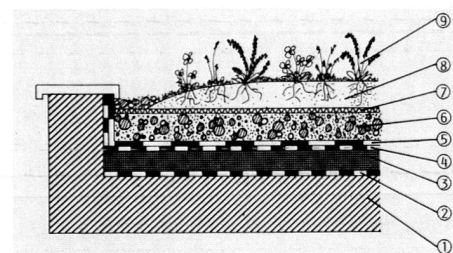
La plus grande partie des toits plats sont recouverts d'une couche de gravier d'environ 5cm d'épaisseur, ce qui correspond à une charge d'environ 100kg/m². Cette force portante doit servir d'orientation au système de végétalisation extensive, si les

Residential, industrial and office buildings and the structures for transport facilities have greatly restricted the habitats of plants and animals. Therefore, for both ecological and aesthetic reasons, every opportunity must be taken to implement measures leading to a return to nature in areas of human settlement.

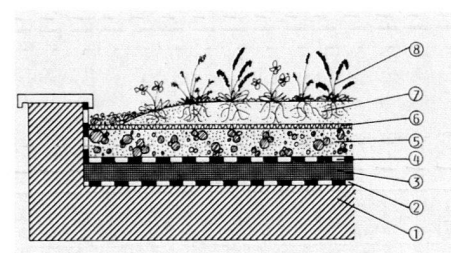
The provision of verdure on the flat roofs of existing buildings offers an opportunity to recover ecologically unused areas, available virtually free of charge for plant communities close to nature. Work has been going on on these questions as part of a test project at the Bavarian State Institute for Viticulture and Horticulture in Veitshöchheim near Würzburg for about six years. Some of the findings from this work are printed below.

The load-bearing capacity of roofs

The great majority of flat roofs are covered with a roughly 5 cm deep layer of gravel equivalent to a load of about 100 kg/m². This load-bearing capacity should be taken as a guideline for the system of the provision of extensive verdure if plants and sh-



- | | |
|--|-------------------|
| ① = Tragkonstruktion | ⑥ = Dränschicht |
| ② = Dampfsperre | ⑦ = Filtervlies |
| ③ = Wärmedämmung | ⑧ = Substrat |
| ④ = Dachdichtung nicht wurzelbeständig | ⑨ = Pflanzendecke |
| ⑤ = Wurzelschutzfolie mit Dachdichtung verträglich | |



- | | |
|----------------------------------|--|
| ① = Tragkonstruktion | ⑤ = Dränschicht (vorhandene Kiesschüttung) |
| ② = Dampfsperre | ⑥ = Filtervlies |
| ③ = Wärmedämmung | ⑦ = Substrat |
| ④ = Dachdichtung wurzelbeständig | ⑧ = Pflanzendecke |

Darstellung 6, links: Schema Begrünung Kiesdach mit Wurzelschutzfolie und Dränschicht.

Darstellung 7, rechts: Schema Begrünung Kiesdach mit wurzelfester Dachdichtung und ausreichenden Belastungsreserven.

Schéma 6, à gauche: Implantation de verdure sur un toit engravé avec feuille de protection contre les racines et couche de drainage.

Schéma 7, à droite: Implantation de verdure sur un toit engravé avec étanchéisation résistante à la pénétration des racines et réserves de charge suffisantes.

Diagram 6, left: Diagram showing the basis for a covering of plants on a gravel-covered flat roof, with a root penetration protection sheet and drainage layer.

Diagram 7, right: Diagram showing the basis for a covering of plants on a gravel-covered flat roof, with a waterproof layer impervious to roots and adequate load reserves.

den, wenn Dächer ohne zusätzliche Lastreserven nachträglich begrünt werden sollen. Wenn der Kies durch ein vegetationsgerechtes System aus Dränschicht, Filter und Substrat mit gleichem Gewicht ersetzt wird, kann praktisch jedes Kiesflachdach begrünt werden (Darstellung 6). Viele Dächer, vor allem Garagen mit geringen Spannweiten, besitzen erhebliche Lastreserven, so dass der Kies als Dränschicht auf dem Dach auch belassen werden kann. Voraussetzung dazu ist allerdings eine wurzelbeständige Dachdichtungsbahn (vgl. Darstellung 7).

Wurzelbeständigkeit und Schutz der Dachdichtung

Bitumengebundene Dachdichtungen sind im Regelfall nicht ausreichend wurzelbeständig. Dies gilt auch bei Bahnen mit Metalleinlagen. Vorhandene bitumengebundene Dichtungen sind deshalb zusätzlich mit einer Wurzelschutzbahn aus Weich-PVC, Synthetikgummi (EPDM) oder Kunststoff auf ECB-Basis zu sichern. Es ist dann darauf zu achten, dass die verwendeten Fabrikate bitumenbeständig sind. Die Dicke der Wurzelschutzbahn sollte etwa 0,8–1 mm betragen. Falls bereits im Stadium der Planung der Bauwerke eine extensive Dachbegrünung vorgesehen werden kann, erscheint die Herstellung einer wurzelbeständigen Dachdichtung wirtschaftlicher. Vor allem aus Gründen der Gewährleistungsabgrenzung und zur Verhütung von Schäden während der Bauzeit empfiehlt sich die zusätzliche Auflage von Schutzvliesen, zum Beispiel einlagig 250 g/m². Leistungsfähiger, aber teurer sind etwa 10 mm dicke Schutzbahnen oder Schutzplatten aus Kunststoff, Synthetikgummi oder Polyurethan.

In jedem Fall ist bei der Ausbildung der Schutzbahnen auf die chemische Verträglichkeit der Stoffe zu achten. Ist diese nicht einwandfrei gewährleistet, müssen zusätzliche Trennlagen aus Vlies (etwa 150 g/m²) vorgesehen werden. Gefährdet sind hier besonders Folien aus Weich-PVC in Verbindung mit bitumengebundenen Dachdichtungen.

toits sans réserves de charge supplémentaire sont végétalisés ultérieurement. Si le gravier est remplacé par un système de végétation consistant en une couche de drainage, un filtre et un substrat de même poids, chaque toit plat recouvert de gravier peut pratiquement être végétalisé (fig. 6). De nombreux toits, surtout les garages à faibles portées, disposent de réserves de charge considérables, de sorte que le gravier peut être laissé et utilisé comme couche de drainage. A condition toutefois qu'il y ait un panneau de matériel d'étoupage résistant aux racines (fig. 7).

Résistance aux racines et protection du revêtement d'étanchéité

Les revêtements d'étanchéité bitumineux ne sont, en règle générale, pas assez résistants aux racines. Cela vaut aussi pour les panneaux avec garnitures métalliques. C'est pourquoi, les revêtements d'étanchéité bitumineux en place doivent être protégés en plus au moyen d'un panneau de protection des racines en CPV mou, en caoutchouc synthétique ou en matière artificielle. Il faut alors veiller à ce que les produits utilisés soient résistants au bitume. L'épaisseur du panneau de protection des racines devrait être d'environ 0,8–1 mm. Dans les cas où une végétalisation extensive du toit est prévue déjà au stade de la planification, la réalisation d'un revêtement d'étanchéité résistant aux racines semble être plus économique. Surtout pour des raisons de délimitation de la garantie et pour la prévention de dégâts pendant la construction, il est recommandé de poser en plus une natte filtrante de protection, par exemple une couche de 250 g/m². Plus efficaces mais plus coûteux aussi sont les panneaux ou plaques d'environ 10 mm d'épaisseur en matière artificielle, caoutchouc synthétique ou polyuréthane.

Il faut veiller, en ce qui concerne la composition des panneaux de protection, à la compatibilité chimique des matières. Si celle-ci n'est pas irréfutablement garantie, des couches de séparation supplémentaires de nattes filtrantes (env. 150 g/m²) doivent être prévues. Sont surtout menacées les feuilles en CPV mou combinées avec des revêtements d'étanchéité bitumineux.

rubens are to be planted on roofs without additional load reserves at a later date. If the gravel is replaced by a system of a drainage layer, a filter and a substratum suitable for vegetation of the same weight, then practically any gravel-covered flat roof can be planted with verdure (diagram 6). Many roofs, especially garages with only small spans, have considerable load reserves so that the gravel can be left on the roof as a drainage layer. The prerequisite for this is, admittedly, a roof waterproof sheeting capable of resisting any penetration by roots (cf diagram 7).

Resistance to root penetration and protection of roof waterproofing

Bitumen-bound roof waterproofing is generally not sufficiently resistant to root penetration. This is also true of waterproof sheets with metal inserts. Existing bitumen-bound waterproof sheeting should thus be additionally safeguarded with a root-protection sheet made of soft PVC, synthetic caoutchouc (EPDM) or plastic on ECB basis. Care should be taken to ensure that the products used are bitumen-resistant. The root-protection sheet should be about 0.8–1 mm thick. If account can be taken of the provision of extensive verdure on the roof already during the planning stage of a building, the creation of a root-resistant waterproof layer on the roof would be more economic. In particular for reasons of guarantee restrictions and in order to prevent any damage during the course of construction, it is to be recommended that there should be an additional layer of protective woven fabric, e.g. single layer 250 g/m². More effective, but also more expensive, are approximately 10 mm protective sheets or protective boards of plastic, synthetic caoutchouc or polyurethane.

At all events, when laying the protective sheets, care should be taken to ensure that the materials are chemically compatible. If this is not absolutely certain, then additional separating layers of woven fabric (approximately 150 g/m²) must be provided. Particularly at risk here are foils in soft PVC combined with bitumen-bound roof waterproofing.

Abb. 3: Petrorhagia saxifraga ist in der Lage, durch Selbstaussaat freie Flächen zu besiedeln; hier zusammen mit Sedum acre und Carex montana.

Fig. 3: Grâce à son autoensemencement, petrorhagia saxifraga est en mesure de peupler les espaces libres, comme c'est le cas ici avec sedum acre et carex montana.

Fig. 3: Petrorhagia saxifraga is capable of covering open spaces by self-dissemination; here together with Sedum acre and Carex montana.





Abb. 4: Einen naturnahen Pflanzenbestand bilden *Sedum album*, *Hieracium pilosella* und *Carex ornithopodoides*.

Fig. 4: *Sedum album*, *hieracium pilosella* et *carex ornithopodoides* constituent un ensemble végétal proche de la nature.

Fig. 4: *Sedum album*, *Hieracium pilosella* and *Carex ornithopodoides* form an almost natural covering of plants.

Dränschicht

In dieser Schicht wird das Überschusswasser auf die Dichtung der Dachfläche abgeleitet und an die Vorflut abgeführt. Gerade bei der Extensivbegrünung sollte hier aber auch die Möglichkeit der Wasserspeicherung genutzt werden. Als Schichtdicke reichen 3–5 cm, wobei die Ebenföchigkeit der Dachkonstruktion zu berücksichtigen ist. Bei Versuchen in Veitshöchheim haben sich neben den relativ schweren Kiesdränschichten leistungsfähige, porige Stoffe aus Lava 2/6 mm und Tongranulate 2/8 mm bewährt, da sie etwa 30–40 Vol.% Wasser speichern können. Selbst bei Wassersättigung wird das Dach durch die Dränschicht bei 3 cm Dicke nur mit etwa 30 kg/m² belastet.

Noch weniger Gewicht und hohe Leistungsfähigkeit bezüglich Wasserableitung bringen Fadengeflecht-Dränmatten aus Polyamid mit beidseitiger Vlieskaschierung in einer Dicke von 20 mm. Allerdings sollte dann die Schichtdicke der durchwurzelbaren Substrate etwas erhöht werden, weil hier kaum Wasserspeichermöglichkeiten gegeben sind. Der Vorteil dieser Dränmatten liegt neben der geringen Aufbauhöhe und dem praktisch vernachlässigbaren Gewicht vor allem im zusätzlichen mechanischen Schutz der Dachdichtung oder Wurzelschutzbahn.

Filter

Um ein Ausschlämmen von feinkörnigen Substraten in die Dränschicht bzw. das Vorflutsystem zu verhindern, haben sich Geotextilien als Filterlage zwischen Dränschicht und durchwurzelbarem Substrat bewährt. Verwendet werden vernadelte Polyester-Spinnvliese in einer Stärke von ungefähr 150 g/m².

Substrate

Wenn davon ausgegangen wird, dass Extensivbegrünungen von Dächern nicht regelmäßig gewässert werden, kommt der Wasserspeicherfähigkeit der Substrate eine grosse Bedeutung zu. Gleichzeitig soll die Wasserdurchlässigkeit für das Abführen des Niederschlagswassers in die Dränschicht ausreichend sein. Zu fordern ist weiter eine möglichst hohe Unkrautfreiheit sowie ungünstige Lebensbedingungen für

Couche de drainage

Dans cette couche, le surplus d'eau est dérivé du revêtement d'étanchéité du toit et évacué vers la voie d'écoulement. Mais en cas de végétalisation extensive, la possibilité de l'accumulation d'eau devrait aussi être utilisée. Une couche d'une épaisseur de 3–5 cm suffit, toutefois la planitude de la construction du toit doit aussi être prise en considération. Les essais à Veitshöchheim ont montré, qu'outre les couches de drainage en gravier qui sont relativement lourdes, des matières poreuses efficaces en lave 2/6 mm et granulés d'argile 2/8 mm sont également appropriées, étant donné qu'elles peuvent accumuler environ 30–40 vol.% d'eau. Même en cas de saturation d'eau, la couche de drainage d'une épaisseur de 3 cm n'augmente que d'environ 30 kg/m² la charge sur le toit. Une augmentation de poids encore inférieure et une haute efficacité quant à la dérivation d'eau sont obtenues avec des nattes de drainage de fibres entrelacées en polyamide, revêtues des deux côtés d'une natte filtrante d'une épaisseur de 20 mm. Néanmoins l'épaisseur de la couche des substrats qui reçoit les racines devra être quelque peu augmentée, vu que l'accumulation d'eau y est quasi impossible. L'avantage de ces nattes de drainage consiste, à côté de leur épaisseur minime et du poids pratiquement négligeable, surtout dans la protection mécanique supplémentaire du revêtement d'étanchéité ou du panneau de protection des racines.

Filter

Afin d'éviter le débordage des substrats à grains fins dans la couche de drainage, c'est-à-dire le système de la voie d'écoulement, des géotextiles servant de couche filtrante entre la couche de drainage et le substrat où passent les racines ont fait leur preuve. On utilise des nattes de fibres polyester tissées d'une épaisseur d'environ 150 g/m².

Substrats

Si l'on part du fait que la végétation extensive des toits n'est pas régulièrement arrosée, la capacité d'accumulation d'eau par les substrats revêt une grande importance. Par ailleurs, la perméabilité à l'eau

Drainage layer

In this layer, the excess water is led away to the waterproof layer and the main outfall drain. Precisely in the case of the provision of extensive verdure, the possibility of water storage should also be used here. 4–5 cm thickness is sufficient for the layer, whereby account should be taken of the plane of the roof construction. In tests at Veitshöchheim, apart from the relatively heavy gravel drainage layer, porous materials from lava 2/6 mm and clay granulates 2/8 mm have proved effective as they can store about 30–40 vol.% water. Even if there is water saturation, the roof is only subject to a load of about 30 kg/m² with a drainage layer of 3 cm thickness.

Woven thread drainage mats made of polyamide with woven fabric on either side of 20 mm thickness are even lighter and are highly effective with regard to water drainage. Admittedly, the layer depth of the substratum for the roots should then be increased a little because there are hardly any facilities for water storage. The advantage of these drainage mats, apart from their only slight thickness and virtually negligible weight, lies in the additional mechanical protection given to the waterproofing or the root-protection sheet.

Filter

In order to prevent any washing out of fine-grained substrata into the drainage layer or the main outfall drain, geotextiles have proved particularly valuable as a filter layer between the drainage layer and the root-bearing substratum. For this purpose needle-punched polyester woven fabrics with a thickness of about 150 g/m² are used.

Substrata

If we work on the assumption that extensive verdure provided on roofs is not watered regularly, the substrata's capacity for water storage is very important. At the same time the water permeability should be sufficient to drain off the water from precipitation into the drainage layer. What is also required is freedom from weeds as far as possible and unfavourable living conditions for undesirable plants. On the other hand, every effort should be made to achieve optimum

Abb. 5: Die groben Bestandteile des Substrates Nr. 2 bilden eine mineralische Wuchsschicht aus Blähton (Liapor), die das Aufkommen unerwünschter Pflanzen weitgehend verhindert.

Fig. 5: Les particules grossières du substrat no 2 constituent une couche de croissance minérale d'argile boursoufflée (Liapor), qui empêche dans une large mesure l'implantation de plantes indésirables.

Fig. 5: The coarse constituents of substratum no. 2 form a mineral growth layer in light expanded clay aggregate (Liapor) which for the most part prevents the appearance of unwanted plants.



unerwünschte Pflanzen. Für die anzusiedelnden Stauden und Kleingehölze hingegen ist eine Optimierung des Wachstums anzustreben. Da die genannten Forderungen sich teilweise gegenseitig negativ beeinflussen können, kann es ein optimales Substrat, das alle Forderungen erfüllt, kaum geben. So ist zum Beispiel zu erwarten, dass in Substraten, die das Pflanzenwachstum stark begünstigen, die Bildung von Unkraut gefördert wird und daraus ein hoher Pflegeaufwand resultiert. In Veitshöchheim wurde bisher mit über 50 Substraten experimentiert und bei Einbaustärken von 2,5–6 cm ein umfangreiches Mess- und Bewertungsprogramm durchgeführt. Nach dem heutigen Erkenntnisstand erscheinen 5 Stoffgemenge von besonderem Interesse zu sein.

Die Zusammensetzung und wesentlichen Eigenschaften enthält die Tabelle 12. Die hier genannten Substrate dürften für Extensivbegrünungen bei Schichtdicken von etwa 4 bis 5 cm alle geeignet sein, obwohl ihre Zusammensetzung recht unterschiedlich ist.

Erwartungsgemäss ist das *Pflanzenwachstum* in den Substraten insgesamt relativ gering, weil die Nährstoffversorgung im Verlauf der Versuchsjahre bewusst mi-

doit être suffisante pour permettre l'écoulement de l'eau de pluie dans la couche de drainage. Autre exigence importante, une végétation avec un minimum absolu de mauvaises herbes et des conditions de vie défavorables pour les plantes indésirables. Pour les sous-arbrisseaux et plantes ligneuses plantés, par contre, on aspirera à une croissance optimale. Etant donné que les exigences mentionnées peuvent en partie s'influencer réciproquement de manière négative, un substrat optimal répondant à toutes les exigences n'est guère trouvable. Il faut s'attendre, par exemple, à ce que les substrats qui favorisent de manière extrême la croissance des plantes, favorisent aussi le développement de mauvaises herbes et qu'il en résulte d'importants frais d'entretien. A Veitshöchheim, on a fait des expériences avec plus de 50 substrats jusqu'ici et réalisé un vaste programme de mesures et d'appréciations avec des couches d'une épaisseur entre 2,5 et 6 cm. D'après les résultats obtenus, 5 mélanges de substances semblent présenter un intérêt particulier.

Leur composition et leurs propriétés essentielles sont indiquées dans le tableau 12. Les substrats mentionnés ici devraient tous être appropriés pour les végétalisa-

growth for the bushes and shrubs to be planted. As the said requirements can have a mutually negative effect, there is hardly likely to be a substratum available to fulfil all requirements. Thus, for instance, it is to be expected that in substrata which greatly promote plant growth the growth of weeds will likewise be encouraged, thus requiring more care and attention. Experiments have been conducted with over 50 different substrata in Veitshöchheim up to now, with depths ranging from 2.5 to 6 cm and a comprehensive measurement and evaluation programme. At the present state of our knowledge, 5 material mixtures would seem to be especially interesting.

The composition and main characteristics are shown in table 12. The substrata listed here should all be suitable for extensive verdure with layer depths of about 4–5 cm, although their composition is very varied. As was to be expected, *plant growth* in the substrata is relatively little as a whole because the nutrient supply was deliberately kept to a minimum during the course of the test period. However, there are clear differences in growth to be seen, with substrata 3, 4 and 5 being advantageous.

The *care required* was reduced to an aesthetically justifiable minimum for the test

Tabelle 12: Zusammensetzung und Eigenschaften bewährter Substrate zur Extensivbegrünung von Dächern.

Tableau 12: Composition et caractéristiques de substrats ayant fait leurs preuves pour l'aménagement d'espaces verts sur les toits.

Table 12: Composition and properties of proven substrates for extensive verdure covering of roofs.

Nr.	Substrat Zusammensetzung	Maximale Wasserkapazität in Vol.%	Raumgewicht nach Wassersättigung to/m ³	Benotung Oberflächenlockerung 1 = keine 9 = sehr stark	Volumenverlust durch Setzung oder mechanische Entnahme des Substrates in Vol.%	Pflanzenausfall % nach einem Jahr	Benotung Pflanzenwachstum 1 = gering 9 = sehr gut	Pflegeaufwand Min/m ² /Jahr Mehrjähriger Durchschnittswert
1	50 Vol.% Torfkultursubstrat 50 Vol.% Blähton	26	0,77	3,6	19,8	1,90	3,94	6,7
2	60 Vol.% Blähton/Liapor 4/8 25 Vol.% Blähton/Liapor 0/4 10 Vol.% Vermiculite 5 Vol.% Calziumbentonit	20	0,64	4,5	8,8	3,14	3,90	5,4
3	100 Vol.% Hygromix (Fa. Gelsenroth)	52	1,51	5,2	13,5	2,86	4,33	9,7
4	Schaumstoffmatte (Technoflor)	80	0,94	1,0	0	7,85	4,15	8,9
5	50 Vol.% Einheitserde (Patzner) 50 Vol.% Lava 2/8 1 kg/m ³ Plantosan	35	0,84	6,0	21,6	3,50	4,30	8,1

nimiert wurde. Unterschiede im Wachstum sind jedoch deutlich vorhanden, wobei die Substrate 3, 4 und 5 Vorteile besitzen.

Der *Pflegeaufwand* war bei den Versuchspflanzungen auf ein ästhetisch vertretbares Minimum reduziert worden und beschränkte sich auf die Entfernung von Pflanzen, die die Bestände gefährden konnten, zum Beispiel Steinklee, Gehölzsämlinge von Birke, Ahorn, Weide, Erle sowie starkwüchsige Ackerunkräuter. Durchschnittlich musste ca. 8 min/m²/Jahr Pflegezeit aufgewendet werden. Dies entspricht etwa dem Pflegeaufwand vergleichbarer bodengebundener, flächiger Gehölz- und Staudenpflanzungen. Teilweise wurde auf die Pflege auch vollständig verzichtet. Es hat sich gezeigt, dass dies eine gewisse Zeit durchaus möglich ist. Allerdings muss bei den Pflanzenbeständen dann eine entsprechende Minderung des visuellen Eindrucks der Pflanzen in Kauf genommen werden. Für solche Fälle dürfte das Substrat Nr. 2 besonders geeignet sein, da hier die Entwicklung der Unkräuter sehr gering ist. Auch in Klimagebieten mit höheren Niederschlägen wäre aufgrund der niedrigen Wasserkapazität diese Stoffzusammensetzung in Erwägung zu ziehen.

Eine weitere Möglichkeit der Kostensenkung für die Pflege wurde in Versuchen durch die zusätzliche Abdeckung der Substrate mit 1,5–2 cm dicken Mulchschichten aus Ziegel-, Urgesteins- oder Lavasplitt 2/5 mm erzielt. Allerdings ist hier das zusätzliche Gewicht bei der Berechnung der Auflast zu berücksichtigen. Besonders günstig wirkt sich diese Abdeckung in Verbindung mit der Schaumstoffmatte von Technoflor aus. Neben der Unkrauthemmung wird mit einer mineralischen Mulchauflage zusätzlich der Wasserhaushalt der Substrate durch die Reduktion der Verdunstung erreicht.

Die *Volumenverluste* der Substrate entstehen durch natürliche Setzungs Vorgänge, aber auch durch Materialentzug bei der Pflege. Die Stoffgemenge mit höheren Anteilen organischer Substanz erleiden zusätzlich über die Mineralisation eine Reduktion des Volumens. Deutlich wird dies an den Substraten Nr. 1 und 5, die nach 4 Jahren ein etwa 20% geringeres Volumen aufwiesen. Bei der Herstellung der Substratschichten muss in diesem Zusammenhang beim Einbau bereits ausreichend, zum Beispiel durch mehrmalige Bewässerung vor der Pflanzung, verdichtet werden.

Durch Frost werden teilweise die Substrate oberflächlich stark gelockert. Diese *Frostlockerung* führte in den ersten Jahren nach der Pflanzung zu Ausfällen im Frühjahr, wenn nicht durch Andrücken oder Wässern die freigelegten Wurzeln wieder ins Substrat eingebettet wurden. Vor allem bei Hygromix Nr. 3, einem im Handel erhältlichen, vorgefertigten Substrat und bei dem Substrat Nr. 5 ist durch den dort enthaltenen Anteil an Tonschiefer bzw. Ton eine entsprechend starke Lockerung beobachtet worden. Hier hat sich eine zusätzliche mineralische Auflage aus Ziegel- oder Moränesplitt ebenfalls positiv ausgewirkt. Die *Wasserkapazität* der Substrate hat nicht die grosse Bedeutung, wie ursprünglich angenommen. Meist wird das in den groben Poren vorhandene Wasser bei hohen absoluten Werten der Wasserkapazität nur gering festgehalten und ist in Trockenzeiten nicht mehr vorhanden. Ein Wert von

tions extensives avec des couches d'environ 4–5 cm, bien que leur composition varie considérablement.

Comme on s'y attendait, la *croissance des plantes* dans les substrats est en général relativement peu importante étant donné que l'on a sciemment réduit à un minimum l'apport de substances nutritives au cours des années d'essai. Des différences dans la croissance apparaissent cependant clairement, les substrats 3, 4 et 5 présentant certains avantages.

Pour les plantations d'essai, *l'entretien* a été réduit à un minimum esthétique défendable et s'est limité à l'élimination de plantes risquant de mettre en danger les formations, par exemple le mélilot des champs, les plantes venues de semis de bouleau, d'érable, de saule, d'aulne, ainsi que les mauvaises herbes des champs qui se propagent rapidement. En moyenne, le temps d'entretien nécessaire a été d'environ 8 min/m²/année. Ce qui correspond à peu près au temps d'entretien nécessaire pour des surfaces comparables de plantations de plantes ligneuses et sous-arbrisseaux dans le sol. A certains endroits, on renonça même tout à fait à l'entretien. Il apparut que cela était sans autre possible pendant un certain temps. Il faut alors s'accommoder d'une diminution correspondante de l'effet visuel en ce qui concerne les formations de plantes. Le substrat no 2 semble être spécialement approprié dans de tels cas, vu que là la propagation des mauvaises herbes est minime. Cette composition pourrait également être prise en considération dans des régions de climat à précipitations assez fréquentes, en raison de la capacité d'eau peu élevée.

Une autre possibilité de réduction des frais d'entretien a été étudiée et réalisée dans des essais où les substrats ont été recouverts de plus d'une couche de mulch de briques, de roche primitive ou de lave concassés d'une épaisseur de 1,5–2 cm. Mais le poids supplémentaire doit être pris en considération pour le calcul de la charge. Cette méthode de recouvrir les substrats s'avère particulièrement favorable en combinaison avec la natte en matériaux cellulaires de Technoflor. Outre l'effet inhibitif sur les mauvaises herbes, une couche minérale de mulch permet de régler le régime des eaux des substrats par la réduction de l'évaporation.

Les *pertes de volume* des substrats se produisent par des processus de tassement naturels, mais aussi par l'enlèvement de matériel lors de l'entretien. Les mélanges de substances avec un pourcentage élevé de substances organiques subissent de plus une réduction du volume due à la minéralisation. Les substrats no 1 et 5, qui après 4 ans présentent un volume réduit d'environ 20%, le démontrent clairement. Sous ce rapport, les couches de substrats doivent déjà être suffisamment tassées lors de l'aménagement, par exemple par plusieurs arrosages.

Le gel ameublît lui aussi parfois considérablement les substrats en surface. Cet *ameublissement dû au gel* entraîna dans les premières années des pertes de plantes au printemps, si les racines découvertes n'étaient pas soigneusement réintroduites dans le substrat par pression ou par arrosage. Surtout avec le Hygromix no 3, un substrat préfabriqué en vente dans le commerce et avec le substrat no 5, on a pu observer, à cause du haut pourcentage d'argillite, c'est-à-dire d'argile, un ameublissement

plantings, and was restricted to the removal of plants which could endanger the stock. e.g. sweet clover, birch, maple, willow or alder seedlings, as well as rapidly growing field weeds. On average, about 8 min/m²/per annum was the care time requirement. This is roughly equivalent to the amount of care required in the soil for areas of bushes and shrubs. In part, no care was taken at all. It transpired that this is certainly possible for a time. Admittedly, a corresponding deterioration in the visual impression created by the plants must then be accepted. Substratum No. 2 should prove particularly suitable for such cases, as the development of weeds is very slight here. This material composition should also be considered for use in climatic areas with higher levels of precipitation on account of its low water capacity.

A further possibility for reducing the costs for care was achieved in tests by covering the substrata additionally with 1.5–2 cm thick layers of brick, primitive rock or lava grit mulch 2/5 mm. Admittedly, when calculating the loading, the additional weight involved should be taken into account. This covering is especially effective in combination with the foam plastic mat from Technoflor. Apart from inhibiting the growth of weeds, by using a mineral mulch layer, the water balance of the substrata is achieved by the reduction of evaporation.

The *losses in volume* of the substrata come about through natural settling processes, but also through the removal of material during care work. In addition, those material mixtures with higher proportions of organic substances suffer a further reduction in volume through mineralisation. This is particularly apparent in the case of substrata Nos. 1 and 5 which showed a roughly 20% lower volume after four years. In this connection, when creating the substratum layers, adequate density must be achieved already before any planting is carried out, e.g. by watering several times.

The surfaces of the substrata are greatly loosened up by frost. This *loosening up through frost* led to losses in spring in the first few years after planting if the bared roots were not embedded in the substratum again by being pressed down or watered. Particularly in the case of Hygromix No. 3, a premixed substratum available in the shops, and substratum No. 5, a correspondingly greater degree of loosening up was observed on account of the argillite or clay content. Here an additional mineral layer of brick or morainic grit also had a positive effect.

The *water capacity* of the substrata is not so important as originally assumed. For the most part, the water to be found in the coarse pores is only retained to a small extent in the case of high absolute values of water capacity, and is no longer present in periods of drought. A value of 25–38 vol. %, such as is found in substrata Nos. 1 and 5, is generally sufficient. Higher water storage values, e.g. in the case of substratum No. 4, did not bring any major advantages in plant development.

It may be said as a recommendation for the choice of substrata that, taking into account the individual situation, such as the climate, the site location, as well as the availability and costs of the said materials, an individual selection is possible. The use of topsoils has not proved a success in practice, in particular because of the severe infestation with weed seeds to be

Tabelle 11: Pflanzenarten für die Extensivbegrünung von Dächern.

Tableau 11: Variétés de plantes pour l'aménagement d'espaces verts sur un toit.

Table 11: Plant species for extensive verdure covering on roofs.

Pflanzenart	Pflanzung		
	Einzel 1 - 2	Trupps 2 - 5	Flächig 5 - 20
Allium flavum	Wildlauch	+	+
Alyssum argenteum	Steinkraut	+	+
Alyssum montanum 'Berggold'	Steinkraut	+	+
Alyssum saxatile 'Compactum'	Steinkraut	+	+
Artemisia stelleriana	Silberwermut	+	+
Carex montana	Bergsegge	+	+
Carex ornithopodoides	Bergvogelfußsegge		+
Cerastium tomentosum 'Yoyo'	Hornkraut	+	+
Dianthus carthusianorum	Kartäusernelke	+	+
Festuca amethystina	Amethyst-Schwinge	+	+
Festuca glauca	Blauschwinge	+	+
Festuca ovina Typica	Schafschwinge	+	+
Festuca rupicaprina	Schwinge	+	+
Geranium sanguineum 'Compactum'	Storchschnabel		+
Hieracium pilosella	Habichtskraut		+
Linaria vulgaris	Leinkraut	+	
Linum narbonense 'Heavenly Blue'	Blauer Lein		+
Melica ciliata	Perigras	+	+
Petrorhagia saxifraga	Steinnelke	+	+
Potentilla verna 'Nana'	Fingerkraut		+
Prunella grandiflora	Braunelle		+
Saponaria ocymoides	Seifenkraut	+	+
Sedum acre	Scharfer Mauerpfeffer		+
Sedum album	Weißes Sedum		+
Sedum reflexum	Fetthenne		+
Sedum sexangulare	Mauerpfeffer		+
Sedum spurium 'Fuldaglut'	Sedum		+
Sedum spurium 'Coccineum'	Fetthenne		+
Sempervivum großrosettig	Dachwurz		+
Sisyrinchium angustifolium	Binsenlilie	+	+
Thymus serpyllum	Thymian		+
Verbascum bombyciferum	Königskerze	+	
Verbascum phoeniceum	Königskerze	+	

25–38 Vol.-% wie zum Beispiel bei den Substraten Nr. 1 und 5 reicht meist aus. Höhere Wasserspeicherwerte brachten keine wesentlichen Vorteile in der Pflanzenentwicklung, zum Beispiel bei dem Substrat Nr. 4.

Als Empfehlung für die Substratauswahl kann gesagt werden, dass unter Berücksichtigung der jeweiligen Situation wie Klima, örtlich vorgegebener Situation für den Einbau sowie die Verfügbarkeit und die Kosten von den genannten Stoffen eine individuelle Auswahl möglich ist. Die Verwendung von Oberboden hat sich nicht bewährt, vor allem weil ein starker Befall mit Unkrautkeimen zu erwarten ist. Falls vom Gewicht her eine zusätzliche Splittabdeckung möglich ist, sollte davon Gebrauch gemacht werden.

Geeignete Pflanzenarten

In den Versuchen wurde grundsätzlich nicht mit Pflanzen einer Art, sondern mit Gemeinschaften hoher Artenvielfalt gearbeitet. Angestrebt wurde ein krisenfester Pflanzenteppich, der bei dem Versagen einer Art eine weitgehende Selbstregenerationsfähigkeit aufweist. Diese Annahme hat sich im Verlauf der Versuchsjahre bestätigt. Derzeit wird mit etwa 150 verschiedenen Pflanzenarten, überwiegend Stauden und Kleingehölzen, gearbeitet. Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen haben sich die Pflanzenarten gemäss Tabelle 11 unter den Versuchsbedingungen (freier Stand, Sonne bis Halbschatten) gut bewährt. Viele dieser Pflanzen sind Wildarten. Vor allem die Gesellschaften des Trockenrasens lieferten ein umfangreiches Reservoir. Aber auch andere, teilweise züchterisch kaum beeinflusste Arten von ökologisch vergleichbaren Standorten sind in der Liste enthalten. Mit ihnen ist die Gestaltung naturhafter Pflanzungen ohne

sement correspondant considérable. Là aussi, une couche minérale supplémentaire de briques ou moraine concassées a eu un effet positif.

La capacité d'eau des substrats ne revêt pas l'importance admise au début. Le plus souvent, l'eau présente dans les pores grossiers n'est retenue qu'en petite quantité même avec des valeurs de capacité d'eau très élevées et n'est plus à disposition dans les périodes sèches. Une valeur de 25–38 vol. %, comme c'est le cas des substrats nos 1 et 5, suffit en général. Des valeurs d'accumulation d'eau supérieures n'ont pas apporté des avantages notables pour le développement des plantes, par exemple le substrat no 4.

En tant que recommandation pour le choix des substrats, on peut dire qu'en tenant compte du climat, de la situation locale d'aménagement, ainsi que de la disponibilité et du coût des substances mentionnées, un choix individuel est possible. L'utilisation de terre n'a pas été convaincante, surtout parce qu'il faut s'attendre à l'envahissement par des germes de mauvaises herbes. Si le poids permet un revêtement supplémentaire de pierres concassées, il faudrait en profiter.

Espèces de plantes appropriées

Pour les essais, on ne travailla par principe pas avec les plantes d'une seule espèce mais avec des communautés très riches en espèces. Le but était d'obtenir un tapis de verdure résistant qui, si une espèce n'arrive pas à subsister, développe une grande capacité d'auto-régénération. Cette hypothèse s'est confirmée au cours des années d'essai. A l'heure actuelle, on travaille avec près de 150 diverses espèces de plantes, surtout des sous-arbrisseaux et de petites plantes ligneuses. D'après les résultats des recherches faites jusqu'ici, les

expected. If weight considerations allow, an additional covering of grit should be used.

Suitable plant types

As a matter of principle, the tests were not conducted just with plants of one species, but with communities of many species. The aim was to attain a carpet of plants able to face any crisis which would be capable of self-regeneration in the event of the failure of one species. This assumption has been confirmed in the course of the test period. At present we are working with about 150 different plant species, mainly shrubs and small bushes. At the present state of the experiments, the plant species have proved their value under test conditions (free-standing, sun to half shadow) as shown in table 11. Many of these plants are wild species. The groups of dry grasses in particular provided a comprehensive reservoir. But other species, in part hardly affected by cultivation from ecologically comparable sites are also included in the list. Using them it is possible to produce natural plantings without difficulty, with an adequate range of varieties with regard to the wealth of blooms, low growth stock, structuring with taller plants. As sufficient evergreen types have been included, the overall impression can also be influenced during the vegetation-less period. The most favourable time for planting proved to be the period from April to June. Autumn planting should be avoided as heavy losses are to be expected. With the shallow substratum layers, the plant sizes normally available in the shops cannot be used as the pot size is generally greater than the depth of substratum. Young plants from 3.5–4.5 cm compressed earth pots or multi-pot boards take very well. They are not only considerably cheaper, but also develop

Schwierigkeiten möglich, wobei eine ausreichende Variationsbreite bezüglich Blütenreichtums, niedrig bleibender Bestände, Strukturierung mit höheren Pflanzen ausreichend gegeben ist. Da auch genügend viele wintergrüne Arten dabei sind, kann auch der Gesamteindruck während der vegetationslosen Zeit beeinflusst werden. Als günstige Pflanzzeit hat sich die Zeit von April bis Juni herausgestellt. Herbstpflanzungen sollten vermieden werden, da mit hohen Ausfällen zu rechnen ist. Bei den dünnen Substratschichten können die im Handel üblichen Pflanzgrößen nicht verwendet werden, da die Topfgrößen meist die Substratdicke übertrifft. Sehr gut wachsen Jungpflanzen aus 3,5–4,5 cm grossen Erdpresstöpfen oder Multitopfplatten an. Sie sind nicht nur wesentlich preisgünstiger, sondern entwickeln sich auch besser, weil sie beim Pflanzen keine Wurzeleinbusse erleiden. Bei den Versuchen wurden Pflanzdichten von etwa 20–25 Stück/m² eingehalten. Allerdings wurde dabei ein Ausfall nicht ausreichend beständiger Arten unterstellt. Bewährte Kombinationen bei der Artenzusammensetzung enthalten die Darstellungen 8 und 9.

Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der hier nur auszugsweise vorgestellten Ergebnisse kann gesagt werden, dass eine nachträgliche Begrünung vorhandener Kiesdächer bei Verwendung geeigneter Substrate und Pflanzenarten ohne übertriebenen finanziellen Aufwand für Herstellung und Unterhalt möglich ist. Bei technisch einwandfreiem Aufbau ist die Unterkonstruktion nicht gefährdet. Wie die Temperaturverläufe der Darstellung 10 zeigen, kommt es durch die Substratschichten bei begrüntem Dächern im Gegensatz zu Kiesdächern zu wesentlich geringeren Temperaturschwankungen, die mit Sicherheit zu einer Energieeinsparung führen und darüber hinaus die Lebenserwartung der Dachdichtung erhöhen. Viele Detailfragen, insbesondere der Pflanzenverwendung bei unterschiedlichen Klimabereichen, sind noch nicht untersucht. Derzeit werden auf rund 40 Dachflächen die erarbeiteten Versuchsergebnisse unter Praxisbedingungen weiter erprobt und zusätzliche Fragen der Kostenminimierung bei der Herstellung untersucht.

Darstellungen 8+9, links und Mitte: Bewährte Artenvergemeinschaftungen zur Extensivbegrünung.

Darstellung 10, rechts: Temperaturverlauf in einer Kiesabdeckung sowie in Substraten unter Pflanzungen im Vergleich zur Luft aus einer Messperiode im Winter.

espèces de plantes indiquées dans le tableau 11 ont fait leurs preuves dans les conditions qui prévalaient pour les essais (sable fin, soleil et pénombre). Un grand nombre de ces plantes sont des espèces sauvages. Surtout les associations des prairies sèches s'avèrent être un riche réservoir. Mais la liste contient aussi d'autres espèces dont certaines à peine influencées par la culture et qui proviennent d'habitats comparables du point de vue écologique. Avec ces plantes, la réalisation d'un aménagement de verdure proche de la nature est possible sans difficultés, vu que le spectre des variétés est suffisant pour assurer la richesse de la floraison, les formations basses et la structuration par des plantes plus hautes. Les espèces à feuilles persistantes étant également assez nombreuses, il est possible d'influencer l'effet général pendant la période de repos de la végétation. Le meilleur moment pour la plantation s'est révélé être entre avril et juin. Les plantations en automne devraient être évitées parce qu'il faut compter avec des pertes considérables. Pour les couches de substrats minces, les grandeurs de plantes usuellement en vente dans le commerce ne peuvent pas être utilisées parce que les pots dépassent dans la plupart des cas l'épaisseur de la couche de substrat. Poussent très bien par contre les jeunes plantes en pots de terre comprimée ou plaques multi-pots de 3,5–4,5 cm. Non seulement elles sont plus avantageuses, mais se développent aussi mieux parce que les racines ne sont pas endommagées lors de la plantation. Pour les essais, la densité des plantes comporta environ 20–25 pièces/m². On présuma toutefois le dépérissement des espèces pas assez résistants. Les combinaisons qui se sont avérées bonnes pour la composition des espèces sont contenues dans les figures 8 et 9.

Résumé et vue du développement

En raison des résultats présentés ici par extraits seulement, on peut dire que la végétalisation ultérieure des toits de gravier est possible, sans que les frais d'aménagement et d'entretien soient exagérés, si l'on utilise les substrats et les espèces de plantes appropriés. La construction inférieure n'est pas menacée si la technique d'aménagement est irréprochable. Ainsi

Schémas 8+9, à gauche et au milieu: Associations éprouvées d'espèces végétales pour un aménagement extensif d'espaces verts.

Schéma 10, à droite: Evolution de la température dans une couche de couverture de gravier et dans le substrat en-dessous d'une plantation, comparativement à celle de l'air durant une période choisie de mesure en hiver.

better because they do not suffer any loss of roots when planted. In the tests we had plant densities of about 20–25 per m². Admittedly, it was assumed that there would be a loss of insufficiently resistant species. Diagrams 8 and 9 contain well-proven combinations of species.

Summing up and outlook

On the basis of the results, which are only presented in part here, it may be said that provision of verdure on existing gravel-covered flat roofs at a later date is possible by using suitable substrata and plant species without the need for excessive financial outlay to achieve and maintain it. If the building is free of structural faults, the subconstruction is not endangered. As the ranges of temperature in diagram 10 show, there are markedly reduced temperature fluctuations with roofs covered with verdure by comparison with gravel-covered roofs on account of the substrata layers. This certainly leads to a saving in energy and also an increase in the life expectancy of the roof waterproofing. Many detailed questions, in particular the employment of plants in varying climatic areas, have yet to be examined. At present, the test results obtained are undergoing further study on some 40 roofs under practice conditions, and additional questions with regard to reducing the costs of production to a minimum are being examined.

que montrent les courbes de température de la figure 10, grâce aux couches de substrats des toits végétalisés les variations de température y sont, contrairement aux toits de gravier, moins importantes, ce qui permet avec certitude une économie d'énergie et, en sus, augmente la durabilité du revêtement d'étanchéité du toit. De nombreux détails, en particulier l'emploi des plantes dans les différentes régions climatiques, n'ont pas encore été étudiés. A présent, les résultats obtenus des essais sont éprouvés en pratique sur près de 40 toits et d'autres questions de réduction des frais d'aménagement sont étudiées.

Diagrams 8+9, left and middle: Proven communities of species for extensive verdure.

Diagram 10, right: Temperature chart for a gravel roof covering and in substrata beneath plants by comparison with the ambient air temperature during a measurement period in winter.

