

Optimierte Erstellung von Trainingsplänen für den Radsport

Jene-Julea Kabro

22. Februar 2020
Version: 17. Februar 2021

Johannes Gutenberg Universität Mainz



Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik
Institut für Informatik
Sportinformatik

Bachelorarbeit

Optimierte Erstellung von Trainingsplänen für den Radsport

Jene-Julea Kabro

Erstgutachter

Dr. Stefan Endler

Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik
Johannes Gutenberg Universität Mainz

Zweitgutachter

Dr. Domenico Mosca

Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik
Johannes Gutenberg Universität Mainz

22. Februar 2020

Jene-Julea Kabro

Optimierte Erstellung von Trainingsplänen für den Radsport

Bachelorarbeit vorgelegt am 22. Februar 2020

Erstgutachter: Dr. Stefan Endler

Zweitgutachter: Dr. Domenico Mosca

Betreuer: Dr. Stefan Endler

Johannes Gutenberg Universität Mainz

Sportinformatik

Institut für Informatik

Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik

Saarstraße 21

55122 Mainz

Kurzzusammenfassung

Besonders im Amateurbereich spielt die Vorbereitung zu den Wettkämpfen eine wichtige Rolle. Die maximale Leistung auf dem Rad wird vorallem von der physischen Leistungsfähigkeit beeinflusst. Unterschiedliche Trainingsziele nehmen Einfluss auf die Trainingsinhalte eines individuellen Sportlers. Mit personalisierten Trainingsplänen soll ein optimaler Trainingsverlauf für eine breite Personengruppe ermöglicht werden. Um die Leistung zu steigern, wird diese Modellierung nach Erkenntnissen der allgemeinen und radsportspezifischen Trainingswissenschaft die Trainingseinheiten aufeinander abstimmen und so strukturieren, dass alle Leistungsbereiche wettkampfsorientiert gewichtet werden.

Abstract

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Problemstellung	1
1.3	Zielgruppe	2
1.4	Überblick	2
2	Verwandte Arbeiten	5
2.1	Trainingsoptimierung für den Laufsport	5
2.2	Verwandte Systeme	5
2.2.1	Strava	5
2.2.2	PerfectPace	6
2.2.3	2PEAK	6
3	Trainingswissenschaftliche Grundlagen	7
3.1	Trainingsziel	7
3.1.1	Eintagesrennen/Straßeneinzelrennen	7
3.1.2	Kriterium/Rundstreckenrennen	8
3.1.3	Bergzeitfahrt	8
3.2	Trainingsprinzipien	8
3.2.1	Periodisierung	8
3.2.2	Zyklisierung	9
3.2.3	progressive Belastungssteigerung	9
3.2.4	Regeneration	9
3.2.5	Superkompensationsmethode	10
3.3	Belastungsbereiche	10
3.3.1	Kompensationsbereich (KB)	10
3.3.2	Grundlagenausdauer (GA)	11
3.3.3	Entwicklungsbereich (EB)	11
3.3.4	Spitzenbereich (SB)	11
3.3.5	Maximal- und Schnellkraftsbereich (K1-K2)	11
3.3.6	Kraftausdauer (K3-K4-K5)	12
3.4	Trainingsmethoden	12
3.4.1	Dauerleistungsmethode DL	13
3.4.2	Fahrtspiel FS	13

3.4.3	Intervallmethode IV	14
3.4.4	Wiederholungsmethode WH	14
4	Informatische Grundlagen	15
4.1	Constraint Programmierung	15
4.1.1	Variablen	15
4.1.2	Constraints	16
4.1.3	Lösungssuche	16
5	Modellierung	19
5.1	Prozess	19
5.2	Model	20
5.2.1	Konstanten	20
5.2.2	Variablen	21
5.2.3	Constraints	22
5.2.4	Optimierung	23
6	Implementierung	25
6.1	Benutzereingaben	25
6.2	Modularisierung	26
6.3	Ausgabe des Trainingsplans oder Frontend	28
7	Evaluation	29
7.1	Anwendungsfall Freizeitsport	29
7.2	Anwendungsfall Amateursport	29
7.3	Evaluation der Individualität	29
7.4	Evaluation der Anwendbarkeit	29
8	Zusammenfassung	31
8.1	Ergebnis der Arbeit	31
8.2	Ausblick	32
8.2.1	Präzisierung	32
8.2.2	Erweiterung	33
8.2.3	Performance	33
8.2.4	Zugänglichkeit	34
	Literatur	35
A	Anhang	39
A.1	Trainingsplan im Freizeitsport	40
A.2	Trainingsplan im Amateursport	41
A.3	Übersicht der Trainingseinheiten	42
A.4	vollständige Modellierung	43

Einleitung

1.1 Motivation

Im Amateursport sowie im Freizeitsport steht nur in seltenen Fällen eine persönliche Trainingsbetreuung zur Verfügung. Dennoch ist auch in diesem Bereich die Effektivität des Trainings abhängig von der Trainingsplanung. Neben der Optimierung der physiologischen Leistung bringt die Planung auch psychologische Vorteile mit sich [8]. Die Vorgabe der Trainingszeiten kann zu einer höheren Verpflichtung und gesteigerter Motivation führen, sodass die geplanten Einheiten mit höherer Wahrscheinlichkeit umgesetzt werden. Greift man auf vorgefertigte Trainingspläne zurück, büßt die Individualität des Trainingsplans ein. [TODO markiert gewesen?] Die Qualität vorgefertigter Trainingspläne variiert stark je nach Quelle und ist ohne trainingswissenschaftliche Kenntnisse nicht zu beurteilen. Fehlen diese Kenntnisse, ist auch die eigene Anfertigung eines Trainingsplans zeitaufwändig. So entsteht ein Bedarf nach einer Modellierung auf Grundlage der radsportspezifischen Trainingswissenschaft, die die Erstellung eines individuellen Trainingsplans für Radsportlerinnen und Radsportler übernimmt. Personalisiert wird nach Trainingsziel und Einschränkungen im Trainingsumfang. Bereits bestehende Systeme sind nicht speziell für den Radsport entwickelt, haben keine individuelle Anpassung der Trainingseinheiten oder sind Teil von kostenintensiven Programmen.

1.2 Problemstellung

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Programms zur automatisierten Erstellung von individuellen Trainingsplänen für Wettkampfdisziplinen im Radsport. Das System modelliert auf Grundlage der allgemeinen und radsportspezifischen Trainingswissenschaften die Gestaltung der Trainingseinheiten einer drei- bis fünfmonatigen Aufbauphase, die periodisiert und zyklisiert ist. Es ist möglich die Länge des Plans individuell zu wählen. Typischerweise dient diese Phase zur Vorbereitung auf einen Wettkampf. Die physiologische Leistung wird vorwiegend durch die Abstimmung der Trainingseinheiten auf das Trainingsziel gesteigert. Im Straßenradsport betrifft das Trainingsziel immer den Bereich der Langzeitausdauer. Aus den unterschiedlichen Wettkampffarten kann dennoch eine Gewichtung der Belastungsbereiche

geschlussfolgert werden. Entscheidend ist das Trainingsziel also auch für ambitionierte Freizeitsportler, die anschließend keinen Wettkampf absolvieren.

Eine weiteren Einfluss auf die Trainingseinheiten hat der maximal verfügbare wöchentliche Trainingsumfang. Die verfügbaren Trainingstage und -stunden sind optimal zu nutzen ohne sie zu überschreiten. Trotz der vielschichtigen Leistungsfaktoren einer erfolgreichen Wettkampfteilnahme behandelt der Plan ausschließlich die physische Leistungssteigerung. Andere Einflüsse auf die Leistung wie psychisches Belastungstraining, taktische Ausbildung, Ausrüstung oder Fahrbeschaffenheit [12, S. 13–15] werden nicht im Rahmen dieser Arbeit behandelt.

1.3 Zielgruppe

Diese Modellierung richtet sich in erster Linie an den Amateursport und ambitionierten Freizeitsport, denn professionellen Sportler:innen steht im Normalfall Betreuungspersonal zur Verfügung. Bei der Fülle an Wettkämpfen in einer Saison wird in der Regel einem Wettkampf keine gesonderte Aufbauphase gewidmet. Dieses System ist an Sportler:innen gerichtet, die ohne externe Betreuung trainieren. Für ambitionierte Hobbyfahrer, die im Anschluss an den Trainingsplan nicht an einem Wettkampf teilnehmen, kann dieser Plan für die Planung der Radsaison dienen. Dabei entspricht die Wettkampfdisziplin dem Trainingsziel der Sportler:innen.

1.4 Überblick

Kapitel 2 - Verwandte Arbeiten

Ein Überblick über bereits bestehende Systeme und deren Eigenschaften. Verglichen wird nach den Kriterien Personalisierungsgrad, Komplexität und Funktionsumfang sowie den anfallenden Kosten für Benutzer:innen.

Kapitel 3 - Trainingswissenschaftliche Grundlagen

Kapitel 3 befasst sich mit den Grundlagen der Sportwissenschaften sowohl im allgemeinen Bereich als auch den radsportspezifischen Anforderungen. Trainingseinheiten werden im Kontext der Periodisierung und Zyklisierung unterschiedliche Trainingsziele erfüllen und so verschiedene Belastungsbereiche abdecken. Hier werden auch die verschiedenen Trainingsmethoden einer strukturierten Trainingseinheit vorgestellt.

Kapitel 4 - Informatische Grundlagen

Die Modellierung erfolgt nach dem Programmierparadigma Constraint Programmierung. Dieses Verfahren verwendet Variablen und Constraints zur Beschreibung

der Problemstellung. Ein Solver berechnet bei Existenz einer Lösung die Lösungsin-
stanz.

Kapitel 5 - Modellierung

Mit Hilfe der Grundlagen der Trainingswissenschaft wird der Trainingsplan mo-
delliert. Die Anforderungen werden im Schema der Constraint Programmierung
beschrieben. Zu Grunde liegt dabei ein mathematisches Modell, das die benötigten
Variablen und Constraints definiert.

Kapitel 6 - Implementierung

Vor der Implementierung des Modells mit Java, wird das System konzipiert. Anhand
von UML-Diagrammen visualisiert dieses Kapitel die Struktur der Implementierung.
Vorrangig geht es um die Umsetzung der Modellierung und deren Einbindung in das
objektorientierte Programm. Zusätzlich entsteht die grafische Schnittstelle für die
Bedienung. Das Modell wird mit der JAVA-Bibliothek choko-solver implementiert.
Die Umsetzung ist als eigenständige Anwendung realisiert.

Kapitel 7 - Evaluation

Evaluiert wird an zwei Anwendungsfällen. An einem kürzeren Plan für den Hobbys-
port und einem umfangreicheren Plan für den Amateursport wird die Individualität
der generierbaren Trainingspläne diskutiert. Thema ist auch die Performance des
Lösungsprozesses.

Kapitel 8 - Zusammenfassung

Abschließend wird ein Überblick vom Ergebnis der Arbeit gegeben. Genauso bein-
haltet dieses Kapitels den Ausblick über die möglichen Erweiterungen.

Verwandte Arbeiten

2.1 Trainingsoptimierung für den Laufsport

Analog zu dieser Arbeit zum Radsport wurde bereits die Trainingsplanerstellung für das Laufen in einer vorherigen Bachelorarbeit optimiert. Besonders in der Struktur der Anwendung sowie dem Umfang der Arbeit gibt es Parallelen. Viele trainingswissenschaftliche Grundlagen sind unabhängig der Sportart gültig. Darunter fallen die Periodisierung, Zyklisierung, progressive Belastung und das Prinzip der Superkompensation. Unterschiede gibt es in den einzelnen Wettkampfformen sowie den zu trainierenden Belastungsbereichen und konkreten Trainingseinheiten.

2.2 Verwandte Systeme

Es gibt bereits Programme zur Trainingssteuerung und damit auch zur Planung von Einheiten. Einige bestehenden Systeme werden hier unter den Kriterien des Personalisierungsgrades, der Zielgruppe, der Komplexität und des Funktionsumfangs sowie den Kosten betrachtet.

2.2.1 Strava

Strava[6] ist besonders im Laufsport und Radsport eine weitverbreitete Anwendung zur Trainingssteuerung. Viele Anwender:innen sind im Freizeit- und Amateursport angesiedelt. In erster Linie wird Strava zur Trainingsdokumentation verwendet. Das soziale Netzwerk ermöglicht den Nutzerinnen und Nutzern das Teilen ihrer sportlichen Aktivitäten. Trainingseinheiten können über das Smartphone oder verbundene Geräte aufgezeichnet werden. Mit einem kostenpflichtigen Abonnement erhält der Nutzer eine Auswahl von zehn Trainingsplänen, die jedoch keine Individualisierung beinhalten. Es kann lediglich zwischen den vorgefertigten Plänen ausgewählt werden. Strava hat unter Athletinnen und Athleten zwar eine große Reichweite, der Fokus liegt jedoch bei der Trainingsdokumentation und dem Teilen der Aktivitäten im sozialen Netzwerk statt auf der Planung einzelner Trainingseinheiten.

2.2.2 PerfectPace

Ein umfassendes Tool zur Trainingssteuerung ist PerfectPace[4]. Dabei richtet sich die Anwendung vorwiegend an die Vorbereitung auf einen Triathlon und deckt das Laufen, Radfahren und Schwimmen gleichermaßen ab. Der ganzheitliche Trainingsplan passt sich dynamisch an. Die Grundlage ist dabei ein KI Modell. Durch die anfallenden Kosten und die spezialisierte Ausrichtung, eignet sich die Anwendung nur bedingt für ambitionierten Freizeitradfahrer:innen. Diese Anwendung adressiert in erster Linie Amateur Triathletinnen und Triathleten.

2.2.3 2PEAK

Ein weiteres kostenpflichtiges Programm ist 2PEAK[1]. Es bietet eine umfassende Trainingssteuerung und stellt sowohl die Trainingsplanerstellung als auch die dynamische Anpassung an Trainingsaktivitäten zur Verfügung. Dabei ist Trainingsdokumentation direkt in der Anwendung möglich. Auch wenn die Dokumentation des Trainings nötig ist für die dynamische Anpassung des Trainingsplans, damit einher geht auch ein erhöhter Planungs- und Dokumentationsaufwand. Da für die Nutzung ein Abonnement abgeschlossen werden muss, fallen außerdem Kosten an.

Trainingswissenschaftliche Grundlagen

Vor der Erstellung eines Modells gilt es die Merkmale eines optimalen Trainingsverlaufs zu spezifizieren. Dabei gibt es allgemeingültige sowie sportartspezifische Prinzipien der Gestaltung einer Trainingseinheit sowie darin enthaltener Trainingsabschnitte.

3.1 Trainingsziel

Macht man das Trainingsziel an einem Wettkampf fest, stellt sich immer die Frage nach der Wettkampfsdisziplin. Sportarten umfassen unterschiedliche Disziplinen, die jeweils andere Leistungsprofile erfordern. Im Radsport gibt es ein weites Spektrum von Wettkampfformen – von weltbekannten Etappenrennen, wie der Tour de France bis hin zu Bahnradrennen. Diese beiden Beispiele gehen jedoch über die Zielgruppe dieser Arbeit hinaus, denn die Teilnehmenden erhalten professionelle Trainingsbetreuung wie im Profisport üblich. Im Amateursport sind dagegen folgende Wettkampfformen von größter Bedeutung.

3.1.1 Eintagesrennen/Straßeneinzelrennen

Das Eintagesrennen ist die älteste und verbreitetste Form der Straßenradrennen. Den ersten Platz erlangt die Person, die am schnellsten die Ziellinie erreicht. Üblicherweise ist die Strecke geringer als 250 km. Die Belastung ist eng an das Streckenprofil (flach, wellig oder bergig) gekoppelt. So ist auch die Energiebereitstellung breit gefächert. Das Training betrifft diverse Leistungsbereiche mit Fokus auf die Ausdauer. Ein ähnliches Belastungsprofil gilt beim Zeitfahren. Hier starten die Fahrer:innen jedoch einzeln und die gefahrenen Zeiten werden im Anschluss verglichen. Auf die Gewichtung der Leistungsbereiche hat dies jedoch keinen Einfluss.

3.1.2 Kriterium/Rundstreckenrennen

Diese Disziplin unterscheidet sich von Eintagesrennen in der Länge der Strecke und der Art der Wertung. Eine Runde ist mit 800 Meter bis 10 Kilometer relativ kurz. Ein Rennen besteht aus mehreren Runden. Das beeinflusst maßgeblich das Leistungsprofil. Durch die Kürze der Strecke verliert die Ausdauer etwas an Bedeutung. Kraft und Schnelligkeit hingegen sind in diesem Wettkampf relevanter. In die Wertung fließen nämlich Punktwertungen für Wertungssprints ein. Bei diesen handelt es sich um kurze Teilstrecke innerhalb eines Rennens.

3.1.3 Bergzeitfahrt

Wie in 3.1.1 aufgegriffen, differenziert sich das Zeitfahren durch die Messung der Zeiten in aufeinanderfolgender Reihenfolge. Für die Definition der Belastungsbereiche entscheidend ist hier aber das Streckenprofil. Gesondert betrachtet wird also das Fahren am Berg, sogenannte Bergzeitfahrten. Bei Strecken mit hohen Anstiegen konzentriert sich die Leistung auf hohe Intensitäten. In dieser Wettkampfsdisziplin ist die Kraft von zentraler Rolle, um den Anstieg zu meistern.

3.2 Trainingsprinzipien

3.2.1 Periodisierung

Zweck eines Trainingsplans ist es in einem Zeitrahmen individuelle Einheiten einzuplanen, um das persönliche Trainingsziel zu erreichen. Daraus hergeleitete Teilziele dienen einer detaillierteren Struktur. Die Granularität kann sogar bis zu einer individuellen Ausrichtung der Woche reichen. Jedes Teilziel wird in einer Periode behandelt, die Einfluss auf den Inhalt der Trainingseinheiten haben.[3]

Im Falle eines wettkampfsorientierten Trainingsjahres strebt man zum Wettkampf die maximale Leistungsfähigkeit an. Typischerweise setzt sich ein Trainingsjahr aus Vorbereitungsperiode, Aufbauperiode und Übergangsperiode zusammen.[11, S. 279] Die Vorbereitungsperiode umfasst die Grundlagenausdauer und allgemeine Fitness. Im Radsport liegt diese im Allgemeinen in der Wintersaison. Innerhalb einer Aufbauperiode werden zunehmend die wettkampfspezifischen Fähigkeiten ausgebaut. Das Training wird auf die individuellen Anforderungen eines Wettkampfs abgestimmt. Dabei kann abhängig von Länge und Anzahl der Wettkampfphasen einfach oder mehrfach periodisiert werden. Auf den Wettkampf folgt die Übergangsperiode. Trainingsumfänge sind hier gesenkt, um dem Körper Erholung zu ermöglichen.

3.2.2 Zyklisierung

Das Training gliedert sich in verschiedene Zyklen mit hierarchischem Aufbau. Sie geben dabei die Belastung und Regenerationsphasen im Trainingsplan vor. Übergeordnete Stufen wirken auf darunterliegende Zyklen ein, indem sie Trainingsumfang, Methoden und auch die Wahl der Belastungsbereiche beeinflussen. [11, S. 283] Makrozyklen haben eine Dauer von 3-5 Monaten. Sie bestehen aus Mesozyklen, die eine Dauer von circa vier Wochen haben. Jede Woche wird dabei als Mikrozyklus bezeichnet. Darin werden Trainingseinheiten geplant. Sogenannte strukturierte Trainingseinheiten definieren zusätzlich die enthaltenen Trainingsabschnitte. Maßgeblich für die Unterteilung einer Einheit ist dabei die Trainingsmethode. Eine Übersicht dieser folgt in Kapitel 3.4.

3.2.3 progressive Belastungssteigerung

Nach einem Trainingsreiz über der Reizschwelle reagiert der Körper mit Anpassungen. Die Leistung wird gesteigert, indem die Reizschwelle erhöht wird. Weitere Leistungssteigerungen durch Anpassungen des Körpers treten erst ein, wenn die veränderte Reizschwelle übertroffen wird. Die Belastung durch Trainingseinheiten erzielt eine optimale Leistungssteigerung, wenn sie progressiv gestaltet ist. Jedoch schädigt ein zu starker überschwelliger Reiz das System. Bei unterschwelligen Reizen führen die Trainingseinheiten nicht zur Steigerung der Leistung, da keine körperliche Anpassung stattfindet. [15, S. 58] Progression kann dabei durch Steigerung der wöchentlichen Trainingstage, der Dauer der Einheiten oder der Trainingsintensität erreicht werden. Möglich ist auch die Verkürzung der Pausen.

Mesozyklen und Makrozyklen sind je mit steigender Belastung geplant. Der Trainingsumfang dient hier als Richtwert.[12, S. 60–61]

3.2.4 Regeneration

Die Anpassung des Körpers an neue überschwellige Reize erfolgt nicht beim Training selbst, sondern in der Regenerationszeit. Um Übertraining zu verhindern, ist mindestens ein Regenerationstag in der Woche einzuplanen. Zur optimalen Leistungssteigerung werden sowohl Trainingseinheiten als auch Belastungspausen zwischen den Einheiten eingeplant. Die Länge der Regenerationspause ist dabei abhängig von Intensität und Dauer der vorangegangenen Leistung. Auch Alter, Geschlecht, Ernährung oder Tagesform spielen eine Rolle. Trotzdem verlieren einige Richtlinien nicht die Allgemeingültigkeit. Beispielsweise folgt nach Wettkämpfen immer eine Phase der Regeneration. Diese kann auch als aktive Regeneration gestaltet sein. Das sind Trainingseinheiten mit geringster Intensität.

3.2.5 Superkompensationsmethode

Die Superkompensation bezeichnet die gesteigerte Leistungsfähigkeit bei optimaler Zeitplanung der Regeneration nach einer Belastung. [11, S. 163] Dabei ist Übertraining aber auch Unterforderung zu vermeiden um eine bestmögliche Belastung zu erreichen. In der Erholungsphase gibt es einen Zeitpunkt, an dem erhöhte Leistungsbereitschaft besteht. Der Zeitpunkt ist abhängig von Intensität und Umfang der jeweiligen Einheit aber auch von persönlichen Voraussetzungen wie Leistungsstand und Erholungsfähigkeit.

Folgende Richtlinien ergeben sich für die Trainingsplanung. [12, S. 44–46] Nur eine Trainingseinheit pro Tag wird eingeplant bei mehrstündigen Ausdauerbelastungen. Die Belastung sollte dabei im Block erfolgen – circa drei bis fünf aufeinanderfolgende Tage bei Einheiten für die Grundlagenausdauer. Bei Einheiten mit hoher Intensität sind die Blöcke kürzer gestaltet. Im Anschluss an einen Belastungsblock folgt ein Regenerationstag. An Erholungstagen ist keine Trainingseinheit oder maximal eine Belastung im Regenerationsbereich erlaubt. Einheiten im Bereich des Krafttrainings werden bevorzugt nach einem Regenerationstag eingeplant. [12, S. 60]

3.3 Belastungsbereiche

[TODO Definition aerob und anarob bzw. wichtig?]

Die Aufbauperiode dient zur Vorbereitung auf einen Wettkampf. Im Radsport gibt es verschiedene Disziplinen (Straßenrennen, Zeitfahrten, Bergfahrten, uvm.) mit unterschiedlichem Belastungsprofil. Um die wettkampfspezifischen Anforderungen zu trainieren, werden die Belastungsbereiche des Radsports in dessen Abhängigkeit gewichtet. Maßgeblich ist die Intensität der Belastung. Folgende Einteilung der Bereiche findet man in Lindners Radsporttraining. [12, S. 31–39] Obwohl die Benennung nicht übereinstimmt, wurde in vergleichbarer Literatur [10, S. 27] eine analoge Einteilung in sieben Stufen vorgenommen.

3.3.1 Kompensationsbereich (KB)

Der Leistungsbereich mit niedrigster Intensität ist der Kompensationsbereich. Dieses Training belastet mit 60% der maximalen Herzfrequenz. Es wird eingesetzt zur aktiven Regeneration oder Kompensation. Üblicherweise folgt ein Kompensationstraining nach sehr intensiven Einheiten oder Wettkampfsbelastungen. Beispiele für ein Kompensationstraining sind Ausfahrten oder Läufe mit geringer Intensität, Spaziergänge oder Mobilisationstrainings. [12, S. 31–32] Eine Regenerationsfahrt hat

eine maximale Länge von 2 Stunden. Das alternative Lauftraining sollte 45 Minuten nicht übersteigen und ist nur außerhalb der Radsaison ratsam.

3.3.2 Grundlagenausdauer (GA)

Trainingseinheiten mit leichter Intensität werden für die Entwicklung der Grundlagenausdauer verwendet. Sie steigern die Leistung im aeroben Bereich und trainieren so den Fettstoffwechsel. Training im Grundlagenausdauerbereich ist auch für die Einheiten mit hoher Intensität von Bedeutung. Die Grundlagenausdauer nimmt einen großen Teil des Trainingsplans ein, da es sich beim Radsport um einen Ausdauersport handelt.

3.3.3 Entwicklungsbereich (EB)

Im Entwicklungsbereich wird die wettkampfspezifische Ausdauer im mittleren Intensitätsbereich trainiert. Zusätzlich zum Fettstoffwechsel bindet es auch den Kohlenhydratstoffwechsel ein. Es wird im aeroben-anaeroben Bereich trainiert. Oft wird es als Wiederholungsmethode durchgeführt.

3.3.4 Spitzenbereich (SB)

Die hohe Intensität im Spitzenbereich verwendet den Kohlenhydratstoffwechsel. Hier wird die anaerobe Schwelle übertroffen. Ziel ist es die Schnelligkeit und Schnelligkeitsausdauer auf die Wettkampfbedingungen zu entwickeln. Überwiegend sind Trainingseinheiten mit der Intervallmethode strukturiert und unmittelbar vor Wettkämpfen platziert.

3.3.5 Maximal- und Schnellkraftsbereich (K1-K2)

Im aeroben Bereich befindet sich die Entwicklung der Maximal- und Schnellkraft. Besonders bei Strecken mit hoher Steigung und Bergfahrten gewinnt dieser Bereich an Bedeutung. Die Maximal- und Schnellkraft ermöglicht es hohe Übersetzungen auch mit hoher Tretfrequenz zu beherrschen. Häufig wird dafür die Wiederholungsmethode eingesetzt.

3.3.6 Kraftausdauer (K3-K4-K5)

Auch hier ist das Trainingsziel eine hohe Tretfrequenz mit hoher Übersetzung zu fahren. Diese soll nun auch über längere Zeit gehalten werden. Die Energiebereitstellung ist im aerob-anaeroben Übergangsbereich. Bergfahrten mit Tempo- und Rythmuswechsel sind eine mögliche Trainingseinheit für diesen Leistungsbereich.

Bringt man Belastungsbereiche und Wettkampfsdisziplinen zusammen, wird die Verlagerung der Schwerpunkte in den einzelnen Disziplinen sichtbar. Wettkämpfe mit höherem Streckenumfang erfordern mehr ausdauerspezifisches Training, das von niedriger Intensität geprägt ist. Kürzere Strecken wie bei Zeitfahrten gewichten die Schnelligkeit, die vorallem in den Sprints wesentlich ist. Bergfahrten hingegen sind geprägt von der hohen Intensität und priorisieren deshalb Belastungsbereiche im Kraftbereich. Diese Tendenzen werden in 3.1 abgebildet. Dennoch ist anzumerken, dass die Werte von spezifischen Wettkampfstrecken abstrahieren und keine exakten Werte bestimmt werden können. **[TODO Zahlen anpassen!]**

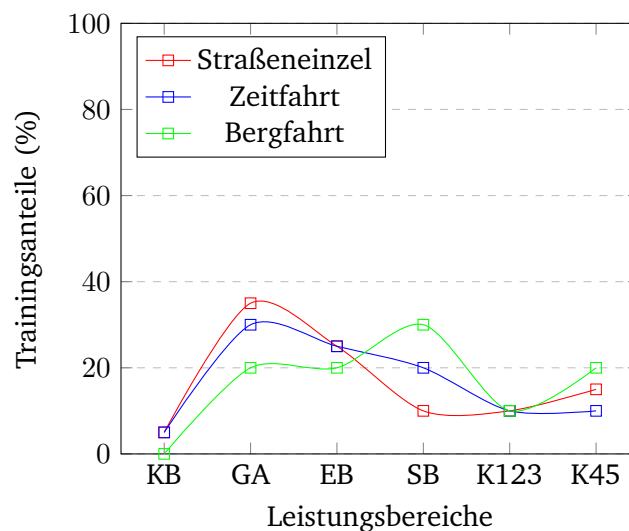


Abb. 3.1.: Relevanz der Leistungsbereiche verschiedener Wettkampfsdisziplinen [12, S. 30]

3.4 Trainingsmethoden

Um die Belastungsbereiche zu trainieren kommen verschiedene Trainingsmethoden zur Gestaltung einer Trainingseinheit in Frage. Sie teilen eine Einheit auf unterschiedliche Weise in Trainingsabschnitte. Bezeichnet werden solche Einheiten auch als strukturierte Trainingseinheiten. Im Folgenden handelt es sich lediglich um eine Auswahl der möglichen Trainingsmethoden für Radsportler:innen in der Aufbauphase.[12, S. 40–43]

3.4.1 Dauerleistungsmethode DL

Bei der Dauerleistungsmethode wird die gesamte Trainingseinheit ohne Unterbrechung in einem Belastungsbereich ausgeführt. Bei höheren Intensitäten wird jedoch auch eine Aufwärmphase und Ausfahrzeit eingeplant. Die Grundlagenausdauer eignet sich hier, um Verletzungen zu unterbinden. Häufig findet diese Methode in niedrigeren Intensitäten Verwendung. Ein Großteil der Vorbereitungsphase priorisiert das Training des Grundlagenausdauerbereichs, der mit der Dauerleistungsmethode trainiert wird.

Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
Kompensationsfahrt	30-120					
Extensive Fahrt		60-240				
Fettstoffwechselfahrt		180-360				
Intensive Fahrt		60	15-60			
Extensive Kraftausdauer Fahrt		30-60			30-150	
Einzelzeitfahrt		60		30-60		

Tab. 3.1.: Trainingseinheiten mit der Dauerleistungsmethode

3.4.2 Fahrtspiel FS

Das Fahrtspiel ist eine spezielle Art der Dauerleistungsmethode. Dabei gibt es keine Vorgaben hinsichtlich der Intensität und des Leistungsbereichs. Die Belastung erfolgt ohne Pause, kann aber mehrere Leistungsbereiche ansprechen und auch innerhalb einer Einheit flexibel in den Bereichen rotieren. Das Training wird persönlich gesteuert oder kann durch die äußeren Gegebenheiten (bergiger Streckenverlauf) beeinflusst werden. Vorgaben über Anteile der Trainingsbereiche sind zeitlich flexibel eingebaut. Nicht jeder Leistungsbereich muss dabei abgedeckt werden.

Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
Extensives Fahrtspiel		30-240	30-240			
Intensives Fahrtspiel		15-180	15-180	15-180		

Tab. 3.2.: Trainingseinheiten mit der Fahrtspielmethode

3.4.3 Intervallmethode IV

Intervalleinheiten alternieren Belastung und Erholungsphasen. Die Pausen reichen nicht für eine vollständige Erholung aus und können auch als aktive Pausen gestaltet werden. Bei aktiven Pausen wird das Training nicht vollständig unterbrochen, sondern mit geringer Aktivität weitergeführt. Serienpausen sind längere Pausen und gruppieren mehrere Belastungen. Besonders Einheiten mit hoher Intensität werden mithilfe der Intervallmethode trainiert.

Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
Intensive Kraftausdauer Fahrt (Berg)		30-90				15- 120
Schnelligkeitsausdauer		60- 180		15-45		

Tab. 3.3.: Trainingseinheiten mit der Intervallmethode

3.4.4 Wiederholungsmethode WH

Ähnlich wie in der Intervallmethode gibt es einen Wechsel zwischen Belastung und Erholung. Jedoch dienen die Pausen bei der Wiederholungsmethode der vollständigen Erholung. Anhand der Herzfrequenz kann kontrolliert werden, zu welchem Zeitpunkt die nächste Belastung startet. Auch hiermit werden tendenziell Trainingsbereiche mit hoher Intensität trainiert.

Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
Sprinttraining		30-60		15-45		

Tab. 3.4.: Trainingseinheiten mit der Wiederholungsmethode

Informatische Grundlagen

Um das Problem der Trainingsplanung zu lösen wird Constraint Programmierung verwendet. Dieser Programmierstil ist deklarativ und ein Teilbereich der künstlichen Intelligenz.

4.1 Constraint Programmierung

Dieses Programmierparadigma entstand als Erweiterung der logischen Programmierung um Constraints (= Randbedingungen). Ohne eine konkrete Lösungsstrategie algorithmisch angeben zu müssen, kann nach einer Lösung des beschriebenen Problems gesucht werden. Dafür wird das Problem in Variablen und Constraints formalisiert. Die Variablen halten Informationen über das Problem fest. Ihre Eigenschaften und Beziehungen zwischen ihnen werden durch die Constraints beschrieben. Eine Lösungsinstanz ist eine Belegung der Variablen, so dass die definierten Constraints erfüllt sind. [7, 14]

4.1.1 Variablen

Constraint Programmierung baut auf einer Menge von Variablen auf. Zu jeder unbekannten Größe im System wird eine Variable und ihr zugehöriger Wertebereich definiert. Das können boolsche, numerische und reelle Variablen sein. Für die Erstellung des Trainingsplan reicht die Betrachtung der Constraint Integer Programmierung. Dabei handelt es sich um die Schnittmenge von Constraint Programmierung und Integer Linear Programmierung. Die wesentliche Einschränkung betrifft die Wertebereiche der Variablen. Für die Belegung der Variablen kommen dann nur ganzzahlige numerische Werte mit endlichem Wertebereich in Frage. Eine Modellierung mit diesen nennt man auch Finite-Domain Constraint-System. Es gibt unterschiedliche Arten der Definition des Wertebereichs. Für Intervalle werden gebundene Wertebereiche verwendet, die über den kleinsten und größten Wert definiert werden, deshalb aber keine Werte im Intervall ausschließen können. Im Gegensatz dazu sind ungebundene Wertebereiche eine Menge der möglichen Werte. Diese Repräsentation ist jedoch speicherlastiger. Abzuwägen ist, ob eine präzisere Bestimmung des Wertebereichs den Suchraum verkleinert, sodass die Problemlösung performanter ist.

Wahrheitswerte können durch ungebundene Variablen als $variable \in \{0, 1\}$ abgebil-

det werden. Es lässt sich damit auch eine Liste von Begriffen abbilden, in der diese festen Zahlen zugeordnet werden. [16]

4.1.2 Constraints

Die namensgebenden Constraints halten die Bedingungen fest, die in der Lösungsinstanz erfüllt sein müssen. Sie beschreiben Zusammenhänge und Beziehungen der Variablen in prädikatenlogischen Aussagen.

Zusammenhänge können arithmetischer Natur sein $+$, $-$, \leq , \geq , $+$, $-$, $*$, $\%$, *sum* oder logische Operatoren sein \Rightarrow , \Leftrightarrow , \wedge , \vee . Für diese Modellierung sind die vorangegangenen Constraints relevant. Im Global Constraint Katalog [5] ist eine umfassende Auflistung der Constraints verfügbar.

4.1.3 Lösungssuche

Zu jedem Constraint gehört ein Propagierer, der den Wertebereich der Variablen filtert. Im Allgemeinen erfolgt die Lösung des Problems rekursiv. Das Verfahren ist zweistufig. Im ersten Schritt wird nach aktuellen Annahmen die Propagation des Suchraums für jeden Constraint gestartet. Erreichen die Propagierer ihren Fixpunkt und können die Wertebereiche nicht weiter eingrenzen, folgt im nächsten Schritt die systematische Suche nach einer Lösung auf dem neuen Suchraum. Eine weitere Annahme über die Belegung einer Variable wird getroffen und der Suchprozess rekursiv aufgerufen. Dieser Vorgang wiederholt sich bis alle Variablen vollständig belegt sind. Ist in einem Schritt die Erfüllung der Constraints *infeasible* (=widersprüchlich) erfolgt ein Backtracking, das die letzte Annahme ausschließt. Definiert man das Problem in der oben genannten Struktur, ist die Menge der Variablen und Constraints ein sogenanntes Constraint Satisfaction Problem (CSP). Diese zielen im Lösungsprozess auf den Beweis der Existenz einer Lösung und das Finden einer Lösungsinstanz ab. Es können mehrere lösende Belegungen existieren. Gegebenenfalls ist aber auch keine Lösung für das Constraint-System möglich. Das ist bei widersprüchlichen Constraints der Fall.

4.1.3.1 Optimierung

Für Probleme mit einer Menge an erfüllenden Lösungsinstanzen wird die Optimierung der Lösungen interessant. Dafür legt man die Entscheidungsvariable und ihre Optimierungsrichtung fest. Modelliert man ein Optimierungsproblem mit Constraint Programmierung, dann erweitert sich der rekursive Lösungsprozess häufig zu einem Branch-and-Bound Algorithmus. Dann wird die Entscheidungsvariable bei jeder gefundenen Lösungsinstanz abgelegt. Neue Lösungen müssen diese je nach Optimie-

rungsrichtung übertreffen oder unterschreiten. Weitere Möglichkeiten sind lokale Suche oder ausschließlich Backtracking.

Modellierung

Im mathematischen Modell werden die Anforderungen aus der Trainingswissenschaft in das Format der Constraint Programmierung übersetzt. Die Modellierung löst jeden Monat gesondert und berechnet deshalb die Trainingseinheiten für einen Zeitraum von 28 Tagen. Dauer, Methode und Belastungsbereiche charakterisieren eine Einheit. Später werden die Mesozyklen dann zu einem Makrozyklus verbunden, der den gesamten Trainingsplan widerspiegelt.

5.1 Prozess

Im ersten Ansatz der Modellierung eines Trainingsplans wurden kein kombinatorischer Grundgedanke verfolgt. Statt eines Pools an validen Trainingseinheiten, definierte das System die Charakteristika einer Trainingsmethode. Die Schwierigkeit ist jedoch die vielen Einzelfälle und Ausnahmen präzise genug abzudecken ohne ein sehr unübersichtliches Constraint-System zu erhalten. Besonders im Hinblick auf die Erweiterung und Skalierbarkeit scheiterte dieser Versuch. Stattdessen wird das Problem als kombinatorische Optimierung betrachtet, das die einzelnen Trainingsmethoden mit dynamischer Verteilung der Belastungsbereiche definiert. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Erweiterung um weitere Arten von Trainingseinheiten. Die Benennung in der Liste der annehmbaren Verteilungen konkretisiert sich auch die Darstellung in der Ausgabe.

Des Weiteren wurde von einer Modellierung auf Basis von Kraft, Ausdauer und Schnelligkeitsanteilen abgesehen. In diesem Fall wären Schätzungen an zwei Stellen vonnöten. Erst müssen für die Trainingseinheiten die drei Bereiche festgelegt werden und dann, wie auch in der aktuellen Modellierung, die Gewichtung in Abhängigkeit der Wettkampfsdisziplin. Mit Definition einer Trainingseinheit über die Belastungsbereiche selbst, kann die Abschätzung an einer Stelle gebündelt werden. Die Wettkampfsarten dienen als Vorlage für die Verteilung, sind von der Modellierung aber unabhängig festgelegt.

Die Optimierung auf Ebene der Mesozyklen erlaubt der Verteilung und Variation genug Spielraum. Die Gefahr einer wochenweisen Optimierung ist, dass es eine Lösungsinstanz gibt, die für alle Wochen in sehr ähnlicher Form verwendet wird. Die

Variation lässt sich damit nicht genügend steuern. Anhand der monatlichen Kapselung wirkt man der Monotonie entgegen und die Erstellung eines Trainingsplans kann dennoch in ausreichend kleine Teilprobleme zerlegt werden.

5.2 Model

5.2.1 Konstanten

In der Modellierung betrachten wir Konstanten gesondert. Diese Größen sind in jeder Lösungsinstanz relevant aber vor der Modellierung fest bestimmt.

In $maxminutes_i$ sind die Beschränkung der Trainingsminuten der vier Wochen ($i \in [1, 4]$) festgesetzt. In diesem Modell wird eine Trainingswoche auf maximal 15 Stunden begrenzt. Bereits vor dem Lösen des Modell ist die 3:1 Periodisierung in diesen Variablen festgehalten. Die vier Wochen des Mesozyklus werden nach dem Schema progressiv gestaltet. Die Trainingsminuten betragen 80%, 90%, 100%, 70% Prozent des Umfangs ihres Makrozyklus. Mit dieser Methode ist auch sichergestellt, dass zum Ende des Plans – und damit in der Woche vor dem Wettkampf – eine Regenerationswoche eingeplant wird.

$$maxminutes_i \in [0, 900] \quad (5.1)$$

Analog dazu gibt es auch eine Begrenzung der Trainingstage einer Woche. Die Anforderung an mindestens einen Regenerationstag ist hier umgesetzt, da die Trainingstage nicht sieben Tage betragen können. Dieses Limit gilt für jede der 4 Wochen.

$$maxdays \in [2, 6] \quad (5.2)$$

Maßgeblich für die Optimierungsvariable sind die festgesetzten Ziele je Belastungsbereich. Sie werden aus den Anforderungen eines Wettkampfs und den zur Verfügung stehenden Trainingsminuten berechnet. Wichtig ist hier die zyklischen Wochenumfänge prozentual einzubeziehen, damit die vorgegebenen Minuten in den Bereichen auch mit den wöchentlichen Begrenzungen erreichbar sind.

Auch die Periodisierung des Trainingsplans kann damit gesteuert werden. Je näher die Monate am Wettkampfsdatum liegen, desto höher wird die Wettkampfspezifische Belastung gewichtet. Auch dieses Prinzip wird schon vor der Modellierung durch den Makrozyklus umgesetzt.

$$kb, ga, eb, sb, k1, k4 \in [0, 900 * 4] \quad (5.3)$$

5.2.2 Variablen

Unter den Variablen der Modellierung versteht man die veränderlichen Größen. Die endlichen Wertebereiche sind möglichst präzise zu wählen, um den Suchraum verkleinern. Eine Lösungsinstanz definiert die Belegung der Variablen mit konkreten Werten für jeden Tag des Mesozyklus, $\forall i \in [1, 28]$.

Name der Trainingseinheit

Variable für die Identifikation der Trainingseinheit am Tag i . Die Liste der Trainingseinheiten wird durch eine 1:1-Korrespondenz (siehe A.3) abgebildet.

$$name_i = \llbracket 0, 11 \rrbracket \quad (5.4)$$

Dauer einer Einheit

Variable für die Dauer der Trainingseinheit an Tag i in Minuten. Es wird für einen Tag eine maximale Trainingszeit von 6 Stunden angesetzt.

$$duration_i = \llbracket 0, 360 \rrbracket \quad (5.5)$$

Trainingsmethode einer Einheit

Variable für die Trainingsmethode der Trainingseinheit an Tag i . Für Tage ohne Trainingseinheit wird die Methode *PAUSE* eingeführt. Auch wenn aus dem Namen der Trainingseinheit ein direkter Zusammenhang mit der Methode besteht, wird diese explizit definiert, um die Variation der Trainingsmethoden zu gewährleisten.

$$method_i = \{PAUSE, DL, FS, IV, WH\} \quad (5.6)$$

Leistungsbereiche einer Einheit

Variable für die Minuten je Belastungsbereich an Tag i . Die maximale Trainingszeit gilt hier gleichermaßen, da ein Training bei der Dauerleistungsmethode in nur einem Bereich absolviert wird.

$$\begin{aligned} kb_i &= \llbracket 0, 360 \rrbracket \\ ga_i &= \llbracket 0, 360 \rrbracket \\ eb_i &= \llbracket 0, 360 \rrbracket \\ sb_i &= \llbracket 0, 360 \rrbracket \\ k1_i &= \llbracket 0, 360 \rrbracket \\ k4_i &= \llbracket 0, 360 \rrbracket \end{aligned} \quad (5.7)$$

5.2.3 Constraints

Diskretisierung der Trainingseinheiten

Die Trainingseinheiten werden bei ihrer Länge auf viertelstündliche Abschnitte diskretisiert. Das verkleinert den Wertebereich der Variable um 93,3% und die Trainingseinheiten sind im Hinblick auf den Anwendungsfall praxistauglich.

$$duration_i \bmod 15 = 0, \forall i \in [1, 28] \quad (5.8)$$

Diskretisierung der Trainingsbereiche

Vergleichbar sind Trainingsbereiche einer Einheit in fünf Minuten Abschnitten festgesetzt. Das verkleinert den Suchraum um 80%. Die Definition der Abschnitte in minütlicher Genauigkeit bietet keinen erheblichen Mehrwert. Der kleinere Suchraum kommt der Implementierung in Kapitel 6 auszugehen.

$$\begin{aligned} kb_i \bmod 5 &= 0 \\ ga_i \bmod 5 &= 0 \\ eb_i \bmod 5 &= 0 \\ sb_i \bmod 5 &= 0 \\ k1_i \bmod 5 &= 0 \\ k4_i \bmod 5 &= 0 \end{aligned}, \forall i \in [0, 28] \quad (5.9)$$

Variation der Trainingsmethoden

Um die Variation der Trainingsmethoden $m \in \{DL, FS, IV, WH\}$ zu garantieren, wird verlangt, dass jede Trainingsmethode mindestens zwei Mal verwendet wird. Durch die 4 Trainingsmethoden ist benötigt man eine Mindestanzahl von 2 Trainingstagen pro Woche, um ein lösbares System zu haben. Das ist durch die Wertebereiche von $maxdays$ in 5.2 sichergestellt.

$$|\{method_i = m | i \in [1, 28]\}| \geq 2 \quad (5.10)$$

Limitierung des wöchentlichen Stundenumfangs

Die Summe der Trainingsstunden muss unter dem vorgegebenen wöchentlichen Umfang liegen. Dieser beinhaltet bereits die Periodisierung des Plans.

$$\forall i \in \{i = k * 7 + 1, k \in \mathbb{Z}\}, \sum_i^{i+6} duration_i \leq maxminutes_i \quad (5.11)$$

Limitierung der wöchentlichen Trainingstage

Ähnlich verhält es sich bei den Trainingstage in einer Woche, die limitiert sind. Hier

ist der Schwellenwert für alle vier Wochen identisch und darf nicht überschritten werden.

$$\forall i = k * 7 + 1, k \in \mathbb{Z}, \sum_i^{i+6} day_i \leq maxdays \quad (5.12)$$

Definition von Pause

Ist an einem Tag die Trainingsdauer auf Null gesetzt, entspricht das einer Pause im Trainingsplan. Die Pause als Trainingsmethode umzusetzen erlaubt es, immer 28 Tage zu modellieren.

$$method_i = \text{PAUSE} \Leftrightarrow minutes_i = 0 \quad (5.13)$$

Menge der validen Trainingseinheiten

Wie bereits in Abschnitt 3.4 definiert, werden die möglichen Trainingseinheiten einer Trainingsmethode als Menge vorgegeben. Minimum und Maximum der Leistungsbereiche legen die erlaubte Zeitspanne fest. Exemplarisch am Fahrtspiel gelten dann folgende Bedingungen für die geordnete Menge $ranges_i = (kb_i, ga_i, eb_i, sb_i, k1_i, k4_i)$. Die vollständige Modellierung für alle Trainingsmethoden befindet sich im Anhang A.4.

$$(method_i = \text{Fahrtspiel}) \Rightarrow t_i = \begin{matrix} (0, \llbracket 60, 240 \rrbracket, \llbracket 60, 240 \rrbracket, 0, 0, 0) \\ \vee (0, \llbracket 60, 180 \rrbracket, \llbracket 60, 180 \rrbracket, \llbracket 60, 180 \rrbracket, 0, 0) \end{matrix} \quad (5.14)$$

5.2.4 Optimierung

Die Modellierung berechnet die Summe der Trainingsminuten in den verschiedenen Belastungsbereichen. Die Distanz dieser zu der kalkulierten Vorgabe wird summiert und als Abweichung des Modells festgelegt. Mithilfe dieser Größe wird die Güte einer Lösungsinstanz quantifiziert. Das Modell strebt bei der Lösung die Minimierung dieses Wertes an.

$$\text{minimize } \sum_{m \in M} |target_m - sum_m| \quad (5.15)$$

Implementierung

Bei der Implementierung der Modellierung wird die objektorientierte Programmiersprache JAVA [2] verwendet. Nativ bietet sie keine Constraint Programmierung an, aber diesbezüglich wird auf die Bibliothek choco-solver [13] zurückgegriffen. Mit Choco [13], einer Open-Source Bibliothek ist die Modellierung von Lehrprojekten und eigenen Projekten möglich.

Aus der Hierarchie der Zyklen lassen sich die Objektklassen entwerfen. Auch wenn die übergeordnete Instanz der Makrozyklus ist, erfolgt die Optimierung erst auf Ebene des Mesozyklus aus Kapitel 5.2. So wird jeder Monat unabhängig der anderen modelliert. Gesteuert wird die Gewichtung der Leistungsbereiche in den einzelnen Monaten durch zwei Faktoren. Die Länge des Plans (3, 4 oder 5 Monate) bestimmt die Anzahl der Mesozyklen. Desweiteren steigt bei Mesozyklen die Gewichtung der wettkampfspezifische Ausdauer bei Näherung an den Wettkampfstermin. Dennoch ist der Solver in ein Programm eingebettet, dass bereits die Eingabe und Ausgabe des Benutzers handhabt. Die Validierung von Eingabe und Ausgabe ist so unabhängig von der Modellierung. Die konkrete Umsetzung des Softwareprojekts wird als Java-Anwendung zur Verfügung gestellt.

Die Optimierung findet auf Ebene der Mesozyklen statt, sodass auch eine Parallelisierung der ein

6.1 Benutzereingaben

Um den Trainingsplan zu individualisieren erfasst das Programm die Eingaben des Nutzers.

Die Wettkampftart korreliert mit dem Trainingsziel. An der ausgewählten Disziplin richten sich die

Der wöchentliche Trainingsumfang des Plans limitiert die Trainingszeit pro Woche. Die Anzahl der Stunden lässt auch Rückschlüsse auf die Professionalität zu. Während im Profibereich der Trainingsumfang über 20 Stunden beträgt, unterschreiten Amateure diesen Wert üblicherweise. Bei einem Wert um die 5 Stunden, spricht man von Hobbysport.

Nicht nur die wöchentlichen Stunden, sondern auch die wöchentlichen Trainingstage

werden bei der Erstellung des Plans berücksichtigt. Die Anzahl der Tage steuert die Häufigkeit der Einheiten. Wie in 3.3 aufgeführt, umfasst ein Training

- Ziel/Disziplin [12, S.11] unterschiedlicher Gewichtung[12, S.14]
- wöchentlicher Trainingsumfang: Anzahl Stunden
- wöchentliche Trainingstage: Anzahl Tage
- Wettkampfstermin: Datum
- Dauer des Plans: 3/4/5 Monate
 - Straßeneinzelrennen
 - Rundstrecke
 - Bergzeitfahrt

Einbettung des Solvers in Java Programm

- Inhalte der JSON-Objekte (siehe 6.3)
- API verfügbar für andere Anwendungen?
- Parallelisierung der Mesozyklen. Um Laufzeit zu sparen ist die Optimierung der einzelnen Monate parallelisiert.
- Time Limits oder andere Arten zur Steuerung des Solvers -> Kommt dann in Implementierung

6.2 Modularisierung

Die Grundlage dieser Arbeit war eine vorangegangene Bachelorarbeit, die der Laufsport betrifft. Mit Ausblick auf die Erweiterung um das Schwimmtraining, ist durch Kombination dieser Arbeiten vorstellbar zu einem Trainingsplan für Triathleten. Aus diesem Grund ist die Arbeit modular gegliedert. Für viele Sportarten gelten die Trainingsprinzipien der Zyklisierung, Periodisierung, progressive Belastung und Superkompensation. Diese Struktur kann für andere Ausdauersportarten übernommen werden. Um die Trainingsplanerstellung für andere Sportarten zu modellieren, sind

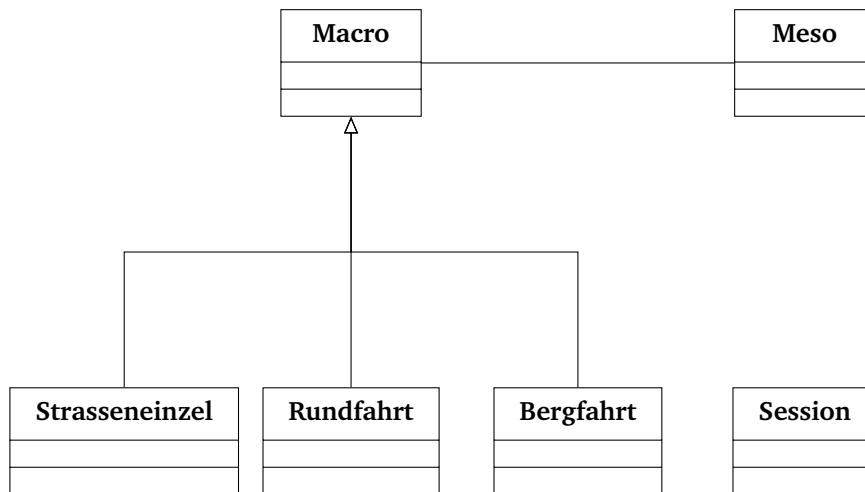


Abb. 6.1.: Enumeration um sportartspezifisches zu Kapseln

folgende Erweiterungen im Code nötig. Die Definition der Leistungsbereiche ist eine Implementierung des Interfaces. Genauso ist die Liste der Trainingsmethoden der Sportart eine andere. Auch diese ist als Interface definiert.

- Übertragbarkeit auf andere Sportarten? Welche Constraints sind speziell für den Radsport vs. allgemeine Trainingsprinzipien
- modulare Entwicklung der Anwendung?

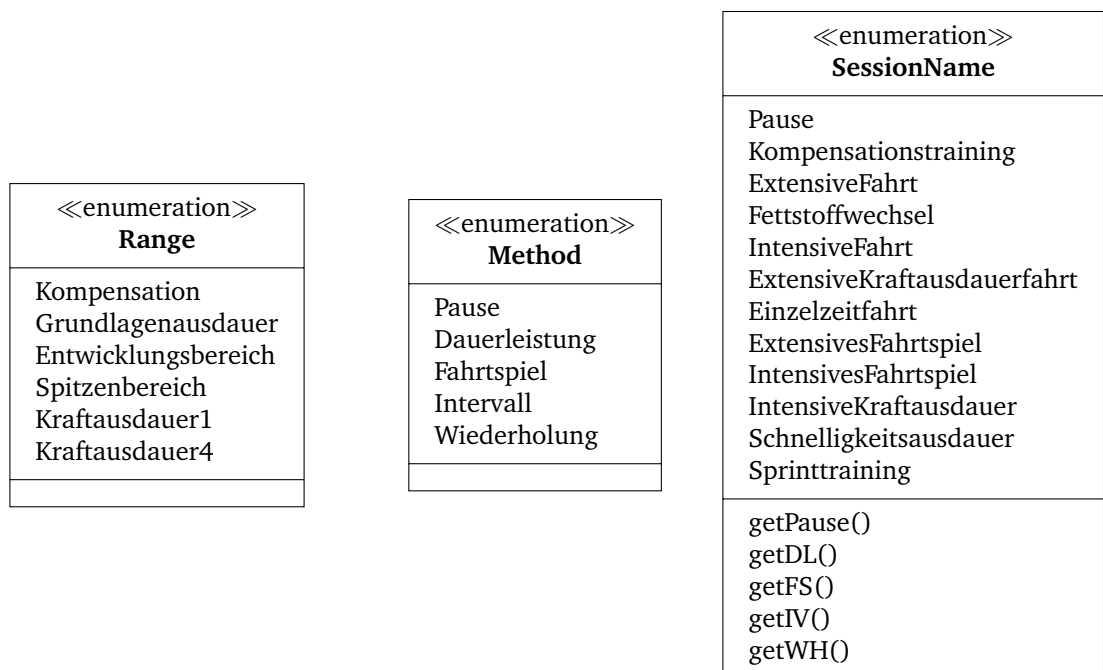


Abb. 6.2.: Enumeration um sportartspezifisches zu Kapseln

6.3 Ausgabe des Trainingsplans oder Frontend

Liste von Trainingseinheiten Die Ausgabe des Plans ist eine Liste der Trainingseinheiten. Die Trainingseinheit definiert

- Tag: Datum
- Dauer: Anzahl h
- Trainingsbereich: 3.3
- Trainingsmethode: $\{Pause, Dauerleistung, Intervall, Wiederholung, Fahrtspiel\}$
3.4
- ? Trainingsalternativen = Auswahl an möglichen Einheiten
- Darstellung der Trainingseinheiten als Liste in der Java Applikation
- Implementierung verfügbar unter <http://www.tba.com>



Abb. 6.3.: Enumeration um sportartspezifisches zu kapseln

Evaluation

An der Zielgruppe orientiert, werden zur Beurteilung zwei Beispiele herangezogen.

7.1 Anwendungsfall Freizeitsport

Das erste Beispiel ist aus Sicht Dieser Plan hat eine Dauer von 3 Monaten und ist

7.2 Anwendungsfall Amateursport

Mit fünfmonatiger Laufzeit und einem hohen Trainingsumfang, ist dieser Plan für Anforderungen aus dem Amateursport erstellt. Die Wettkampfsdisziplin .

7.3 Evaluation der Individualität

Die Eingaben des Benutzers sind in fünf Faktoren fetsgehalten.

7.4 Evaluation der Anwendbarkeit

Kürzerer Plan hat nicht soviel Spielraum in der Verteilung also höhere Abweichung. Nicht so schlimm, da gering genug und auch weniger nah an Professionalisierung.

Zusammenfassung

8.1 Ergebnis der Arbeit

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Erstellung eines Trainingsplans durch Constraint Programmierung lösbar ist. Zu diesem Zweck sind die trainingswissenschaftlichen Anforderung an einen Trainingsplan definiert worden. Der Trainingsplan beachtet die Trainingsprinzipien der Zyklisierung, Periodisierung und progressiven Belastung. Er plant die Aufbauphase in Abhängigkeit der angegebenen Wettkampfsdisziplin. Welche Leistungsbereiche des Radsports abgedeckt werden steht damit in einem direkten Zusammenhang.

Zusammengesetzt wird ein Plan nach dem Baukastenprinzip. Die dynamisch definierten Trainingseinheiten sind Bausteine und haben verschiedene Anteile an den Leistungsbereichen. Das mathematische Modell optimiert die Auswahl der Einheiten, sodass die Anteile der Leistungsbereiche im Plan denen des Trainingsziels entsprechen. Begrenzt wird der wöchentliche Trainingsumfang in Stunden aber auch Tagen. Auch die Variation der Trainingsmethoden nimmt Einfluss auf die Wahl.

Die Modellierung ist in eine eigenständige Anwendung umgesetzt. Die Benutzung erfolgt über eine übersichtliche grafische Benutzeroberfläche. Auf Ebene der Mesozyklen parallelisiert die Software das Lösen der einzelnen Monate. Zusammengesetzt ergeben diese den vollständigen Trainingsplan der Aufbauphase. Durch den modularen Aufbau des Programmcodes bietet die Arbeit eine Grundlage für die Weiterentwicklung. Das Programm listet die Trainingseinheiten nach der Berechnung und ermöglicht es sie als PDF-Dokument abzuspeichern.

Anhand zweier beispielhafter Pläne bestätigt sich die Praktikabilität der Anwendung. Die gemessenen Abweichungen in den einzelnen Bereichen sind vertretbar, denn die Diskrepanz zum Zielwert beträgt durchschnittlich [TODO Prozent] der Trainingsminuten. Die Anwendung terminiert in angemessener Zeit und deckt die Zielgruppe aus Freizeitsportler:innen und Amateursportler:innen erfolgreich ab. [TODO Überleitung]

8.2 Ausblick

Obwohl die Erstellung eines Trainingsplans erfolgreich umgesetzt wurde, gibt es Möglichkeiten zur Verbesserung und Weiterentwicklung. Auf die verschiedenen Ansätze wird nachfolgend eingegangen.

8.2.1 Präzisierung

In dieser Modellierung geben die wichtigen Grundlagen der Trainingswissenschaft die Bedingungen vor. Dennoch deckt das Modell nicht alle Details ab, die Einfluss auf die Qualität eines Trainingsplans haben. Ein exaktes System ist in der Form zwar durch die Natur der Trainingswissenschaft nicht möglich, dennoch gibt es weitere etablierte Trainingsprinzipien.

Durch das Aufnehmen weiterer Abhängigkeiten steigt besonders die Individualität des Plans. Mögliche Größen mit Einfluss auf den Trainingsplan sind zu untersuchen. Darunter fallen Einfluss des Alters bzw. des Trainingsalters [9, S. 181], des Geschlechts und die Leistungsgruppe [12, S. 173]. Nach dem Prinzip der Superkompensation können die Trainingseinheiten besser aufeinander abgestimmt werden, in denen Blöcke einer Woche definiert werden.

Darüber hinaus ist sogar ein vorangestellter Leistungstest vorstellbar. Mit dieser Art der Leistungsdiagnostik erfasst man die aktuelle Leistungsfähigkeit in den einzelnen Leistungsbereichen. Defizite in einzelnen Bereichen können – wie die Wettkampfsdisziplin – auf die Anteile der Leistungsbereiche Einfluss nehmen. Das hohe Maß an Individualität, das dadurch gewonnen wird, verlangt jedoch mehr Aufwand voraus.

In der Constraint Programmierung besteht die Möglichkeit Soft-Constraints zu definieren. Deren Erfüllung ist optional und bei einer Lösungsinstanz nicht immer gegeben. Falls die Randbedingung nicht erfüllt ist, wird die Instanz bei der Optimierung aber schlechter bewertet. Der choco-Solver unterstützt diesen Mechanismus nicht direkt. Jedoch erlaubt er über Reified-Constraints den Status der Erfüllbarkeit abzufragen. Addiert man die Anzahl der nicht erfüllten Bedingungen auf den Optimierungswert, rekonstruiert es die gleichen Effekte wie ein Soft-Constraint. Interessant ist das dann bei Empfehlungen der Trainingsplangestaltung. Zum Beispiel rät man zu einem Erholungstag vor Einheiten, die einen großen Anteil an K123- oder K45-Belastungen beinhalten. Auch die Verteilung der Regenerationstage kann damit gleichmäßiger erfolgen. Folgen viele Tage ohne Trainingseinheit aufeinander,

wird das schlechtere Werte erhalten, weil regelmäßige Erholung einer Gebaltn vorzuziehen ist.

8.2.2 Erweiterung

Auf Grundlage dieser Arbeit ist es möglich die Trainingsplanerstellung weiterzuentwickeln. Aus der hierarchischen Struktur folgt die Modularisierung des Programms in Objektklassen. Denkbar sind andere Ausdauersportarten und die Ausweitung der Trainingsziele. Des Weiteren ist die Erweiterung der Makrozyklen auf die Vorbereitungsperiode und Übergangsperiode möglich. So wären die Bausteine für einen Jahresplan vorbereitet.

Anderweitige Belastungen, ungeplante Ausfälle Wie wirkt sich Training außerhalb des Radsports aus? z.B. Ein Fußballer, der auch Rennrad fährt.

Triathleten und andere Sportarten Zusammenschluss der Arbeiten dann zu einem Trainingsplan spezifisch für die Triathlon Vorbereitung möglich?

Trainingsdokumentation Erweiterung zur Trainingskontrolle und Trainingsdokumentation

Vorgabe über Wochentag und Zeiten im Kalender -> mehr Vorgabe als nur die Trainingstage.

8.2.3 Performance

Diese Arbeit benötigt für die Erstellung des Plans maximal 30 Sekunden. Dieses Limit wurde der Modellierung hinzugefügt, um ein anwendbares System zu erhalten. Durch die zeitliche Begrenzung des Lösungsprozesses, toleriert die Lösung auch eine Abweichung von den Leistungsbereichen. Die Optimierung wird vorgenommen, es ist jedoch nicht garantiert, dass die vorgegebene Lösung optimal (Distanz = 0) ist. Grund dafür ist die Diskretisierung der Leistungsbereichanteile auf fünf Minuten und die der Trainingseinheiten auf viertelstündliche Vorgaben, aber auch das Limitieren des Suchprozesses auf [TODO Sekunden] Sekunden. Mit einer eigenen Suchstrategie kann die Laufzeit optimiert werden. Mit der Flexibilität der Fahrtspielmethode wäre es möglich die Distanz bis auf kleine Abweichung aufzufüllen.

Verbessert man die Laufzeit der Lösungssuche durch eine bessere Suchstrategie, verringert das auch die Distanz der Leistungsbereiche zur Zielverteilung. Die Lösung

nach 30 Sekunden ist näher am optimalen Wert. Eventuell kann die Dauer des Timers auch gesenkt werden.

8.2.4 Zugänglichkeit

Fokus dieser Arbeit war die Modellierung eines optimierten Trainingsplans, weshalb sie als eigenständige Anwendung umgesetzt ist. Um das System der Zielgruppe zur Verfügung zu stellen ist eine Webanwendung zweckmäßiger. Durch die Definition einer Schnittstelle mithilfe von JSON-Objekten kapselt sich die Modellierung von der Benutzerinteraktion ab. Nötig ist hierfür das Deployment der Anwendung auf einem JAVA Server. Nachfolgend eine Möglichkeit für eine Schnittstelle.

```
{
  "num_months": 3,
  "competition": "singleday",
  "sport": "racing bike",
  "competition_date": 22.02.2022,
  "sessions": [
    {
      date: 01.02.2022,
      minutes: 60,
      method: "intervall",
      name: "sprinttraining",
      sections: [
        {
          length: 45,
          range: "GA"
        },
        {
          length: 5,
          range: "EB"
        },
        ...
      ]
    }
  ],
}
```

Die grafische Oberfläche bessere Beschreibung der Trainingseinheiten erweitert werden. Mit einer Schnittstelle zur Trainingsplanerstellung Oberfläche/Ausgabe auch maximale Stunden für jeden Wochentag: h/Tag Oberfläche/Ausgabe auch Trainingseinheit benennen.

Literatur

- [2]Ken Arnold, James Gosling und David Holmes. *The Java programming language*. Addison Wesley Professional, 2005 (siehe S. 25).
- [3]Daniel Baker, Greg Wilson und Robert Carlyon. „Periodization: The Effect on Strength of Manipulating Volume and Intensity“. In: *The Journal of Strength & Conditioning Research* 8 (1994) (siehe S. 8).
- [7]Thom Frühwirth. *Constraint-Programmierung : Grundlagen und Anwendungen*. Springer-Lehrbuch. Berlin [u.a.], 1997 (siehe S. 15).
- [8]Peter M. Gollwitzer. „Implementation intentions: Strong effects of simple plans.“ In: *American Psychologist* 54.7 (1999), S. 493–503 (siehe S. 1).
- [9]Andreas Hohmann. *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert, 2014 (siehe S. 32).
- [10]Kuno Hottenrott. *Ausdauertrainer Radsport Training mit System*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1998 (siehe S. 10).
- [11]Georg Neumann Kuno Hottenrott. *Trainingswissenschaft*. Meyer + Meyer Fachverlag, 2020 (siehe S. 8–10).
- [12]Wolfram Lindner. *Radsporttraining methodische Erkenntnisse, Trainingsgestaltung, Leistungsdiagnostik*. München: bly, 2005 (siehe S. 2, 9, 10, 12, 26, 32).
- [14]Francesca Rossi, Peter Van Beek und Toby Walsh, Hrsg. *Handbook of constraint programming*. 1st ed. Foundations of artificial intelligence. Amsterdam ; Boston: Elsevier, 2006 (siehe S. 15).
- [15]Dietmar Seidenspinner. *Prinzipien der Trainingslehre*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005 (siehe S. 9).
- [16]Frank Van Harmelen, Vladimir Lifschitz und Bruce Porter. *Handbook of Knowledge Representation*. English. Burlington: Elsevier, 2008 (siehe S. 16).

Webseiten

- [1]2PEAK AG. *2PEAK*. URL: <https://2peak.com/> (besucht am 23. Dez. 2020) (siehe S. 6).
- [4]LeanFive Software GmbH & CoKG. *PerfectPace - Train, race, recover at your PerfectPace*. URL: <https://blog.perfectpace.com/de/> (besucht am 23. Dez. 2020) (siehe S. 6).

- [5] Sophie Demassey. *Global Constraint Catalog*. URL: <http://sofdem.github.io/gccat/gccat/sec5.html> (besucht am 23. Dez. 2020) (siehe S. 16).
- [6] Strava Engineering. *Strava | Tracking von Lauf- und Radfahraktivitäten im sozialen Netzwerk für Sportler*. URL: <https://www.strava.com/features> (besucht am 23. Dez. 2020) (siehe S. 5).
- [13] Charles Prud'homme, Jean-Guillaume Fages und Xavier Lorca. *Choco Solver Documentation*. TASC u. a. 2016. URL: <http://www.choco-solver.org> (besucht am 26. Dez. 2020) (siehe S. 25).

Abbildungsverzeichnis

3.1	Relevanz der Leistungsbereiche verschiedener Wettkampfsdisziplinen [12, S. 30]	12
6.1	Enumeration um sportartspezifisches zu Kapseln	27
6.2	Enumeration um sportartspezifisches zu Kapseln	27
6.3	Enumeration um sportartspezifisches zu Kapseln	28
A.1	Schema der Modellierung	39

Tabellenverzeichnis

3.1	Trainingseinheiten mit der Dauerleistungsmethode	13
3.2	Trainingseinheiten mit der Fahrtspielmethode	13
3.3	Trainingseinheiten mit der Intervallmethode	14
3.4	Trainingseinheiten mit der Wiederholungsmethode	14
A.1	Trainingseinheiten aus allen Trainingsmethoden	42

Anhang

A

[TODO Formatierung]

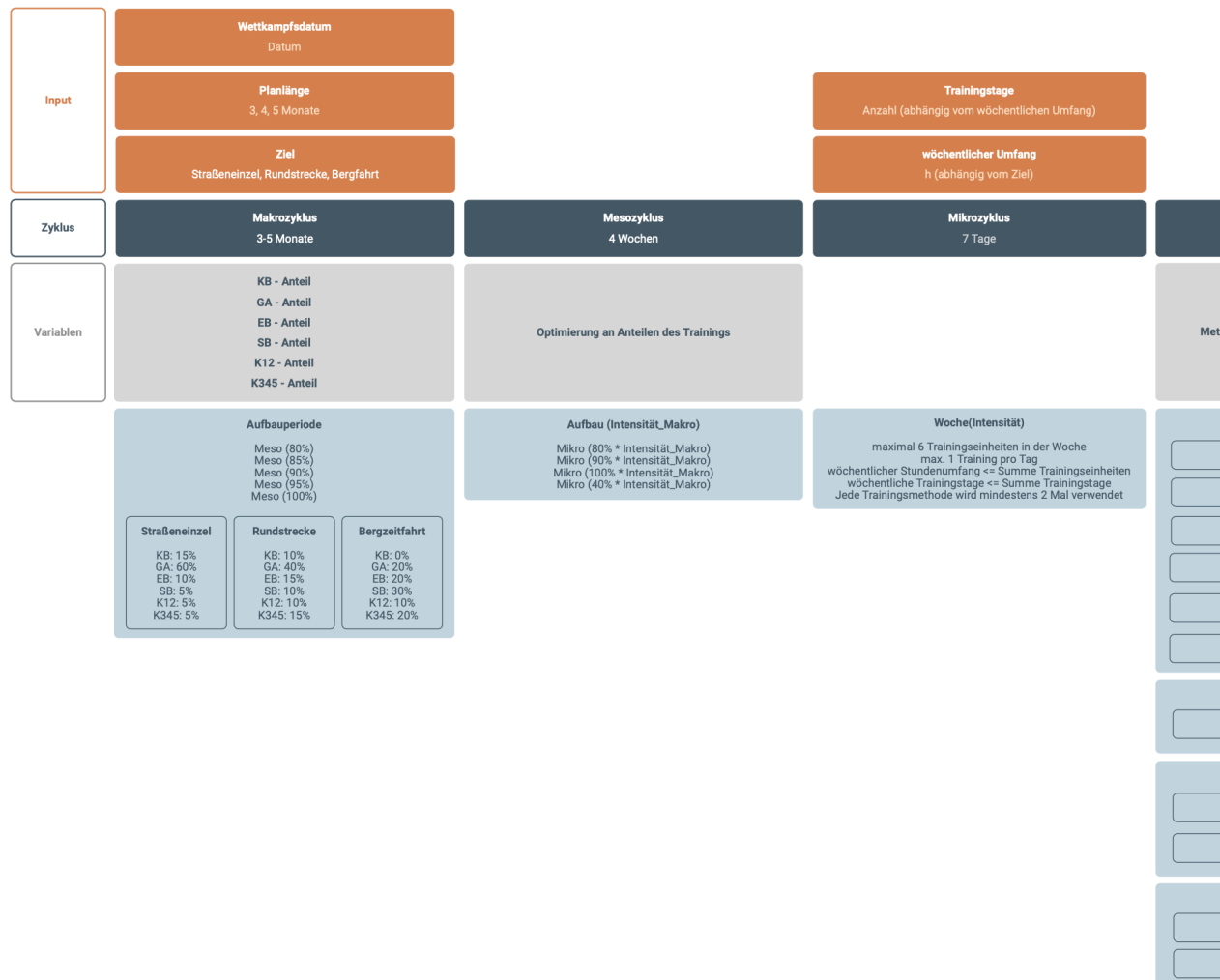


Abb. A.1.: Schema der Modellierung

A.1 Trainingsplan im Freizeitsport

A.2 Trainingsplan im Amateursport

A.3 Übersicht der Trainingseinheiten

T	Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
0	Pause						
1	Kompensationsfahrt	30-120					
2	Extensive Fahrt		60-240				
3	Fettstoffwechselfahrt		180-360				
4	Intensive Fahrt		60	15-60			
5	Extensive Kraftausdauer Fahrt		30-60			30-150	
6	Einzelzeitfahrt		60		30-60		
7	Extensives Fahrtspiel		30-240	30-240			
8	Intensives Fahrtspiel		15-180	15-180	15-180		
9	Intensive Kraftausdauer Fahrt (Berg)		30-90				15-120
10	Schnelligkeitsausdauer		60-180		15-45		
11	Sprinttraining		30-60		15-45		

Tab. A.1.: Trainingseinheiten aus allen Trainingsmethoden

A.4 vollständige Modellierung

$$\forall i \in [1, 28], \min_i \mod 15 = 0$$

$$\forall i \in [1, 28], kb_i \mod 5 = 0$$

$$\forall i \in [1, 28], ga_i \mod 5 = 0$$

$$\forall i \in [1, 28], eb_i \mod 5 = 0$$

$$\forall i \in [1, 28], sb_i \mod 5 = 0$$

$$\forall i \in [1, 28], k1_i \mod 5 = 0$$

$$\forall i \in [1, 28], k4_i \mod 5 = 0$$

$$\forall m \in, |\{method_i = m | i \in [1, 28]\}| \geq 2$$

$$\forall i = k * 7 + 1, k \in Z, \sum_i^{i+6} \text{duration}_i \leq \text{maxhours}$$

$$\forall i \in \{i = k * 7 + 1, k \in Z\}, \sum_i^{i+6} \text{duration}_i \leq \text{maxhours}$$

$$\forall i = k * 7 + 1, k \in Z, \sum_i^{i+6} \text{day}_i \leq \text{maxdays}$$

$$method_i = \text{PAUSE} \Leftrightarrow minutes_i = 0$$

$$([30, 120], 0, 0, 0, 0, 0)$$

$$\vee (0, [60, 240], 0, 0, 0, 0)$$

$$\vee (0, [180, 360], 0, 0, 0, 0)$$

$$(method_i = \text{Dauerleistung}) \Rightarrow t_i = \vee (0, 60, [15, 60], 0, 0, 0)$$

$$\vee (0, [30, 60], 0, 0, [30, 150], 0)$$

$$\vee (0, 60, 0, [30, 60], 0, 0)$$

$$(method_i = \text{Fahrtspiel}) \Rightarrow t_i = \begin{aligned} & (0, [60, 240], [60, 240], 0, 0, 0) \\ & \vee (0, [60, 180], [60, 180], [60, 180], 0, 0) \end{aligned}$$

$$(method_i = \text{Intervall}) \Rightarrow t_i = (0, [30, 90], 0, 0, 0, [15, 120])$$

$$\vee (0, [60, 180], 0, [15, 45], 0, 0)$$

$$(method_i = \text{Wiederholung}) \Rightarrow t_i = (0, [30, 60], 0, [15, 45], 0, 0)$$

$$\text{minimize } \sum_{m \in M} |\text{target}_m - \text{sum}_m|$$

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch Ausland in gleicher oder ähnlicher Form in einem Verfahren zur Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt.

Mainz, 22. Februar 2020

Jene-Julea Kabro

