

Optimierte Erstellung von Trainingsplänen für den Radsport

Jene-Julea Kabro

22. 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 2021

Jene-Julea Kabro

Optimierte Erstellung von Trainingsplänen für den Radsport

Bachelorarbeit vorgelegt am 22. Februar 2021

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 des Radsports spielt die Vorbereitung zu den Wettkämpfen eine wichtige Rolle. Die maximale Leistung auf dem Rad wird vor allem von der physischen Leistungsfähigkeit beeinflusst. Unterschiedliche Trainingsziele nehmen Einfluss auf die Trainingsinhalte der individuellen Sportler:innen. Mit der Modellierung personalisierter Pläne 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 Einheiten aufeinander abstimmen und so strukturieren, dass alle Belastungsbereiche wettkampforientiert gewichtet werden.

Abstract

Especially for amateur cyclists the preparation to a competition plays a significant role. The performance on the bike directly correlates with the physical ability. Different road race types impact the recommended form of exercise of the sportsperson. Using personalized training plans ensures the optimal progress in training for a broad group of people. To increase performance this model will coordinate the training sessions based on universal and bike-specific sport science and structure them in such a way, that forms of training are weighted according to the discipline of the competition.

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	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	11
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	12
3.3.6	Kraftausdauer K3-K4-K5	12
3.4	Trainingsmethoden	13
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	17
5.1	Designprozess	17
5.2	Modell	18
5.2.1	Konstanten	19
5.2.2	Variablen	19
5.2.3	Constraints	20
5.2.4	Optimierung	22
6	Implementierung	23
6.1	Eingaben	23
6.2	Klassendiagramm der Modellierung	24
6.2.1	Macro-Klasse	25
6.2.2	Meso-Klasse	25
6.2.3	Session-Klasse	26
6.3	Modularisierung	26
6.4	Ausgabe	28
6.5	Testfälle	28
7	Evaluation	29
7.1	Anwendungsfälle	29
7.2	Evaluation der Anwendbarkeit	29
7.3	Evaluation der Individualität	30
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	33
	Literatur	35
A	Anhang	41
A.1	Übersicht der Trainingseinheiten	41

A.2 Schema anhand hierarchischer Zyklisierung	42
A.3 Mathematische Modellierung	43
A.4 Klassendiagramm	44
A.5 Grafische Benutzungsoberfläche	45
A.6 Beispiel Trainingsplan	46
A.7 Schnittstelle im JSON-Format	49

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 gesteigerten Motivation führen, sodass die geplanten Einheiten mit höherer Wahrscheinlichkeit umgesetzt werden. Greift man auf vorgefertigte Trainingspläne zurück, büßt die Individualität des Trainingsplans ein. 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 Aufbauperiode, die zyklisiert und periodisiert ist. Es ist möglich die Länge des Plans individuell zu wählen. Typischerweise dient die Aufbauperiode zur Vorbereitung auf einen Wettkampf. Die physiologische Leistung wird vorwiegend durch die Abstimmung der Trainingseinheiten auf das Trainingsziel gesteigert. Im Straßenradsport betrifft das Trainingsziel den Bereich der Langzeitausdauer. Aus den unterschiedlichen Wettkampffarten kann dennoch eine Gewichtung der Belastungsbe-

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

Einen 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 eines erfolgreichen Wettkampfs 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 Aufbauperiode gewidmet. Dieses System ist an Sportler:innen gerichtet, die ohne externe Betreuung trainieren. Für ambitionierte Freizeitsportler:innen, die im Anschluss an den Trainingsplan nicht an einem Wettkampf teilnehmen, kann dieser Plan für die Konzeption der Radsaison dienen. Dabei entspricht die Wettkampfdisziplin der Ausrichtung des Trainings.

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 verschiedene Belastungsbereiche abdecken. Hier werden auch die verschiedenen Trainingsmethoden einer strukturierten Trainingseinheit vorgestellt.

Kapitel 4 - Informatische Grundlagen

Die Modellierung erfolgt nach dem Programmierparadigma Constraint Program-

mierung. Dieses Verfahren verwendet Variablen und Constraints zur Beschreibung der Problemstellung. Ein Solver berechnet bei Existenz einer Lösung die Lösungsinstantz.

Kapitel 5 - Modellierung

Mit Hilfe der Grundlagen der Trainingswissenschaft wird der Trainingsplan modelliert. 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 Klassendiagrammen 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 Choco Solver implementiert. Die Umsetzung ist als eigenständige Anwendung realisiert.

Kapitel 7 - Evaluation

Evaluiert wird an neun Anwendungsfällen, die verschiedene Umfänge und Wettkampfdisziplinen betreffen. Die Individualität der generierten Trainingspläne wird diskutiert. Thema ist auch die Performance des Lösungsprozesses.

Kapitel 8 - Zusammenfassung

Abschließend werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengetragen. Dieses Kapitel beinhaltet außerdem 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 [17] gelöst. Viele trainingswissenschaftliche Grundlagen sind unabhängig von der Sportart gültig. Parallelen gibt es bei der Periodisierung, Zyklisierung, progressiven Belastung und dem 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 bestehende 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 wird eine Auswahl von zehn Trainingsplänen geboten, die jedoch keine Individualisierung beinhalten. Es kann lediglich zwischen den vorgefertigten Plänen gewählt 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 Modell aus der künstlichen Intelligenz. Durch die anfallenden Kosten und die spezialisierte Ausrichtung eignet sich die Anwendung nur bedingt für ambitionierte Freizeitradfahrer:innen. Diese Anwendung adressiert in erster Linie Triathletinnen und Triathleten aus dem Amateursport.

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 die Trainingsdokumentation direkt in der Anwendung möglich. Auch wenn die Dokumentation des Trainings nötig für die dynamische Anpassung des Trainingsplans ist, geht damit auch ein erhöhter Planungs- und Dokumentationsaufwand einher. 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

Orientiert sich das Trainingsziel an einem Wettkampf, stellt sich immer die Frage nach der Wettkampfdisziplin. Sportarten umfassen unterschiedliche Disziplinen, die jeweils andere Leistungsprofile erfordern. Im Radsport gibt es ein weites Spektrum – 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 beträgt die zurückzulegende Strecke weniger 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 Belastungsbereiche 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 Belastungsbereiche hat dies jedoch keinen Einfluss.

3.1.2 Rundstreckenrennen

Diese Disziplin unterscheidet sich von Eintagesrennen in der Länge der Strecke und der Art der Wertung. Eine Runde ist mit 800 Metern bis 10 Kilometern 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 zusätzliche Punkte für Sprints ein. Bei diesen handelt es sich um kurze Teilstrecken 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 demnach das Fahren am Berg, sogenannte Bergzeitfahrten. Bei Strecken mit hohen Anstiegen konzentriert sich die Leistung auf hohe Intensitäten. In dieser Wettkampfdisziplin ist die Kraft von zentraler Bedeutung, um den Anstieg zu meistern.

3.2 Trainingsprinzipien

3.2.1 Periodisierung

Zweck eines Trainingsplans ist es, in einem definierten 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 hat. [3]

Im Falle eines wettkampforientierten 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 Wettkampfperioden einfach oder mehrfach periodisiert werden.

Auf den Wettkampf folgt die Übergangsperiode. Der Trainingsumfang ist 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 den Trainingsumfang, die Methoden und auch die Wahl der Belastungsbereiche beeinflussen. [11, S. 283] Makrozyklen haben eine Dauer von drei bis fünf Monaten. Sie bestehen aus Mesozyklen, die eine Dauer von circa vier Wochen haben. Jede Woche wird dabei als Mikrozyklus bezeichnet. Darin werden die 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

Die Gestaltung der Mesozyklen folgt direkt aus dem Prinzip der progressiven Belastung. 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 jeweils mit steigender Belastung geplant. Der Trainingsumfang dient hierbei als Richtwert. [12, S. 60–61] Bei Mesozyklen wurde eine 3:1 Periodisierung vorgenommen. Dabei wird die ersten drei Wochen mit steigender Belastung trainiert. Im Anschluss folgt eine Regenerationswoche mit reduziertem Umfang.

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. [9] 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 bei mehrstündigen Ausdauerbelastungen eingeplant. 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

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 deren 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 Belastungsbereich mit niedrigster Intensität ist der Kompensationsbereich. Dieses Training belastet mit 60 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Es wird zur aktiven Regeneration oder Kompensation eingesetzt. Üblicherweise folgt ein Kompensationstraining nach sehr intensiven Einheiten oder Wettkampfbelastungen. 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 zwei 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. Bei Steuerung über die maximale Herzfrequenz kann von einem Richtwert von 80 Prozent ausgegangen werden. Es wird ausschließlich der aerobe Energiestoffwechsel beansprucht. Für das Verbrennen von Kohlenhydraten und Fetten wird dann Sauerstoff verwendet. Die Grundlagenausdauer nimmt einen großen Teil des Trainingsplans ein, da es sich beim Radsport um einen Ausdauersport handelt. Oft wird sie als Dauerleistung trainiert. Für intensive Einheiten wird aber auch ein Trainingsabschnitt im Grundlagenausdauerbereich eingeplant. Vor der intensiven Belastung dient er dem Aufwärmen und abschließend dem Ausfahren.

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, der sowohl Sauerstoff aber auch Milchsäuregärung zur Energiegewinnung verwendet. Oft wird es als Wiederholungsmethode oder Intervallmethode durchgeführt.

3.3.4 Spitzenbereich SB

Bei hohen Intensitäten, wie im Spitzenbereich, erfolgt die Energiegewinnung aus Kohlenhydraten nicht mithilfe des Sauerstoffs. Hier wird der anaerobe Stoffwechsel beansprucht. 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. Außerdem profitieren Starts und Sprints vom Training in diesem Bereich, denn 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 Rhythmuswechsel sind eine mögliche Trainingseinheit für diesen Belastungsbereich.

Bringt man Belastungsbereiche und Wettkampfdisziplinen 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, erfordern Schnelligkeit, die vor allem in den Sprints wesentlich ist. Bergfahrten hingegen sind geprägt von der hohen Intensität und priorisieren deshalb Belastungsbereiche im Kraftbereich. Diese Tendenzen werden in Abbildung 3.1 dargestellt. Dennoch ist anzumerken, dass die Werte von spezifischen Wettkampfstrecken abstrahieren und keine exakten Werte bestimmt werden können.

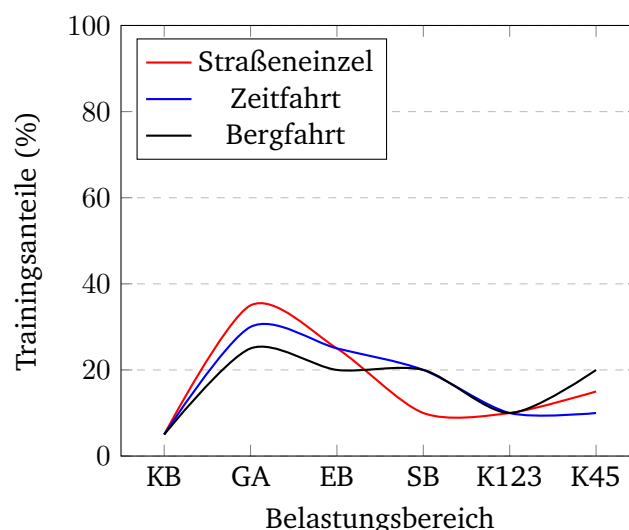


Abb. 3.1.: Relevanz der Belastungsbereiche von Wettkampfdisziplinen nach [12, S. 30]

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 ein. 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 Aufbauperiode. [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 bei niedrigeren Intensitäten Verwendung. Ein Großteil der Vorbereitungsperiode priorisiert das Training des Grundlagenausdauerbereichs, der mit der Dauerleistungsmethode trainiert wird.

Tabelle 3.2 führt die möglichen Trainingseinheiten dieser Methode auf. Anhand der Belastungsbereiche werden die möglichen Längen in einer Trainingseinheit festgelegt. Wie auch für die folgenden Methoden ist die Zeitspanne in Minuten angegeben und die Definition flexibel.

Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
Kompensationsfahrt	15-180					
Extensive Fahrt	30-300					
Fettstoffwechselfahrt	60-300					
Intensive Fahrt	30-60 15-60					
Extensive Kraftausdauer Fahrt	30-60 15-150					
Einzelzeitfahrt	30-60 15-60					

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 Belastungsbereichs. Die Belastung erfolgt ohne Pause, kann aber mehrere Bereiche ansprechen und auch innerhalb einer Einheit flexibel in den Bereichen rotieren. Das freie Fahrtspiel unterliegt keiner Vorgabe bei der Gestaltung der Einheit. 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 Belastungsbereich muss dabei abgedeckt werden.

Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
Extensives Fahrtspiel		15-240	15-240			
Intensives Fahrtspiel		15-300	15-300	15-300	0-180	0-180

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 Kraftausdauerfahrt		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		15-30		15-60		

Tab. 3.4.: Trainingseinheiten mit der Wiederholungsmethode

Trägt man obige Ausprägungen einer Trainingsmethode zusammen, erhält man die Übersicht der Einheiten, die bei der Erstellung des Plans kombiniert werden können wie im Anhang unter A.1.

Informatische Grundlagen

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

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 mit Werten aus dem Wertebereich, sodass 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 werden eine Variable und ihr zugehöriger Wertebereich definiert. Das können boolesche, 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. 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 $variable \in \{0,1\}$ abgebildet 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 $+$, $-$, \leq , \geq , $+$, $-$, $*$, $\%$, *sum* oder logische Operatoren \Rightarrow , \Leftrightarrow , \wedge , \vee sein. 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. Im Lösungsprozess ist die Suchstrategie von zentraler Bedeutung, um ein anwendbares Programm zu erhalten. Die Reihenfolge der Belegung der Variablen und die gewählten Werte aus dem Wertebereich können die Laufzeit stark beeinflussen.

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 je nach Optimierungsrichtung den Wert übertreffen oder unterschreiten.

Modellierung

Im mathematischen Modell werden die Anforderungen aus der Trainingswissenschaft in das Format der Constraint Programmierung übersetzt. Die Modellierung optimiert jeden Monat gesondert nach Anteilen der Belastungsbereiche und berechnet deshalb die Trainingseinheiten für einen Zeitraum von 28 Tagen. Zur Auswahl stehen dabei Einheiten der verschiedenen Trainingsmethoden, um wochenweise die Trainingsumfänge zu füllen. Dauer, Methode und Belastungsbereiche charakterisieren eine Einheit. Später werden die Mesozyklen zu einem Makrozyklus verbunden, der den gesamten Trainingsplan widerspiegelt.

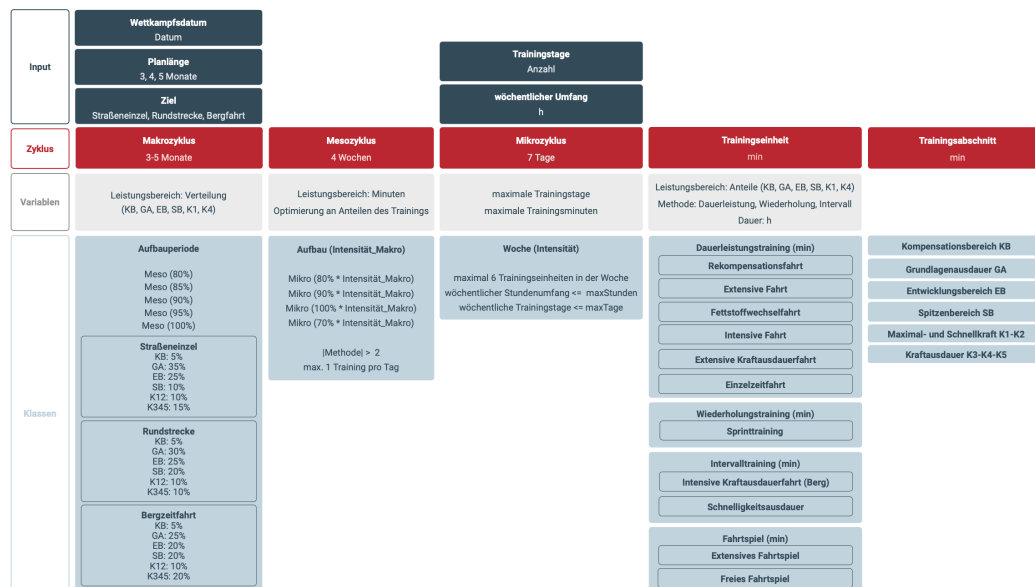


Abb. 5.1.: Schema der Modellierung mit hierarchischer Struktur (siehe A.2)

5.1 Designprozess

Im ersten Ansatz der Modellierung eines Trainingsplans wurde kein kombinatorischer Grundgedanke verfolgt. Statt einer Menge 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 Trainingseinheiten mit dynamischer Verteilung der Belastungsbereiche definiert und nach Prinzipien der Sportwissenschaften kombiniert. Es gelten wochen- und monatsweise Kriterien, die erfüllt sein müssen. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Erweiterung um weitere Arten von validen Trainingseinheiten, siehe A.1. Die Benennung in der Liste der annehmbaren Verteilungen konkretisiert 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 Wettkampfdisziplin. Mit Definition einer Trainingseinheit über die Belastungsbereiche selbst kann die Schätzung 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 Modell

Die verschiedenen Ebenen des Modells gleichen denen der Zyklisierung. Die Struktur ist in Abbildung 5.1 visualisiert. Ein Trainingsplan betrifft in der Modellierung die Aufbauperiode. Hier gibt es je nach Wettkampfdisziplin drei verschiedene Ausprägungen. Bewertet wird die Relevanz der Belastungsbereiche durch deren Auswahl. Eingebettet in einen Makrozyklus sind mehrere Mesozyklen. Abhängig von der Planlänge werden hier die Intensitäten und Umfänge angepasst. Ein Mikrozyklus teilt die vier Wochen ein. Hier kommen Beschränkungen der Umfänge zum Tragen. Die Trainingseinheiten einer Woche sind gruppiert nach ihren Methoden. Identisch zu A.1 wurden die einzelnen Trainingsabschnitte dynamisch definiert.

1. Makrozyklus aus Wettkampfdisziplin bestimmen
2. Anzahl an Mesozyklen je nach Dauer einbetten
3. Vorgaben der Umfänge berechnen und an Mesozyklen weitergeben
4. Mesozyklen modellieren je 28 Tage aus den verfügbaren Trainingseinheiten
5. Optimierung anhand der Distanz zu den Belastungsbereichen
6. Erstellte Trainingseinheiten aus den Mesozyklen zusammensetzen

5.2.1 Konstanten

In der Modellierung werden Konstanten gesondert betrachtet. Diese Größen sind in jeder Lösungsinstanz relevant, aber vor der Modellierung fest bestimmt.

In $maxminutes_i$ ist die Beschränkung der Trainingsminuten der i -ten Woche festgesetzt. In diesem Modell wird eine Trainingswoche auf maximal zwölf Stunden begrenzt. Bereits vor dem Lösen des Modells ist die 3:1 Periodisierung in diesen Variablen festgehalten. Die vier Wochen des Mesozyklus werden progressiv gestaltet und die Umfänge betragen 80 %, 90 %, 100 % und 70 % 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.

$$maxminutes_w \in [0, 300], \forall w \in \{0, 1, 2, 3\} \quad (5.1)$$

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

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

Maßgeblich für die Optimierungsvariable sind die festgesetzten Ziele je Belastungsbereich $R = \{kb, ga, eb, sb, k1, k4\}$. 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.

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

$$target_r \in [0, 300 * 4 * 6], \forall r \in R \quad (5.3)$$

5.2.2 Variablen

Unter den Variablen der Modellierung werden die veränderlichen Größen verstanden. Die endlichen Wertebereiche sind möglichst präzise zu wählen, um den Suchraum zu verkleinern. Eine Lösungsinstanz definiert die Belegung der Variablen mit konkreten Werten für jeden Tag des Mesozyklus: $\forall i \in [0, 27]$.

Name der Einheit

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

$$duration_i = \llbracket 0, 300 \rrbracket \quad (5.5)$$

Trainingsmethode einer Einheit

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

$$method_i \in M \quad (5.6)$$

Belastungsbereiche einer Einheit

Variable für die Minuten je Belastungsbereich $r \in R$ an Tag i . Sie wird für alle Elemente aus $\{kb, ga, eb, sb, k1, k4\}$ definiert. Die maximale Trainingszeit gilt hier gleichermaßen, da ein Training bei der Dauerleistungsmethode in nur einem Bereich absolviert werden kann.

$$r_i = \llbracket 0, 300 \rrbracket \quad (5.7)$$

5.2.3 Constraints

5.2.3.1 Constraints für Trainingstage

Für die Definition der Constraints werden Tage durch $i \in [0, 27]$ identifiziert.

Diskretisierung der Trainingseinheiten

Die Trainingseinheiten werden bei ihrer Länge auf viertelstündliche Abschnitte diskretisiert. Das verkleinert den Wertebereich der Variablen um 93,3 %, ohne die mögliche maximale Länge der Einheiten zu kürzen. Die Trainingseinheiten sind im Hinblick auf den Anwendungsfall so auch praxistauglich.

$$duration_i \bmod 15 = 0 \quad (5.8)$$

Diskretisierung der Trainingsbereiche

Gleiches gilt für die Trainingsbereiche $R = \{kb_i, ga_i, eb_i, sb_i, k1_i, k4_i\}$ einer Einheit. In 15-minütigen Abschnitten festgesetzt, bieten sie genug Genauigkeit für den Benutzer, ohne einen sehr großen Suchraum zu erzwingen. Die Definition der Abschnitte in minütlicher Genauigkeit bietet keinen erheblichen Mehrwert. Der kleinere Wertebereich kommt der Implementierung in Kapitel 6 zugute, ohne die Erstellung auf sehr kurze Trainingseinheiten zu limitieren.

$$r_i \bmod 15 = 0, \forall r \in R \quad (5.9)$$

Konsistenz von Dauer der Einheiten und Trainingsabschnitten

Für jeden Trainingstag i mit Trainingsabschnitten in den Bereichen $r \in R$ gilt, dass deren Summe auch der Länge des Trainings entspricht.

$$\sum_{r \in R} r_i = duration_i \quad (5.10)$$

Variation der Trainingsmethoden

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

$$|\{method_i = m\}| \geq 2, \forall m \in M \quad (5.11)$$

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.

$$method_i = PAUSE \Leftrightarrow duration_i = 0 \quad (5.12)$$

Menge der validen Trainingseinheiten

Wie bereits in Abschnitt 3.4 definiert, werden die möglichen Trainingseinheiten einer Methode als Menge vorgegeben. Minimum und Maximum der Belastungsbereiche legen die erlaubte Zeitspanne fest. Exemplarisch am Fahrtspiel gelten damit 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 erfolgt analog nach den definierten Trainingseinheiten. Sie befindet sich im Anhang A.3.

$$(method_i = \text{Fahrtspiel}) \Rightarrow t_i = \begin{aligned} &(0, \llbracket 60, 240 \rrbracket, \llbracket 60, 240 \rrbracket, 0, 0, 0) \\ &\vee (0, \llbracket 60, 180 \rrbracket, \llbracket 60, 180 \rrbracket, \llbracket 60, 180 \rrbracket, 0, 0) \end{aligned} \quad (5.13)$$

5.2.3.2 Constraints für Trainingswochen

Folgende Constraints gelten für alle Wochen $w \in \{0, 1, 2, 3\}$ des Mesozyklus.

Limitierung des wöchentlichen Stundenumfangs

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

$$\sum_{j=7*w}^{7*w+6} duration_j \leq maxminutes_w \quad (5.14)$$

Limitierung der wöchentlichen Trainingstage

Ähnlich verhält es sich bei den limitierten Trainingstagen in einer Woche. Hier ist der Schwellenwert für alle Wochen identisch und durch die Konstante $maxdays$ vorgegeben. Die Modellierung erlaubt es, den Wert um einen Tag zu unterschreiten, um die Verteilung der Einheiten flexibel zu halten.

$$\sum_{j=7*w}^{7*w+6} (duration_j > 0) \leq maxdays \quad (5.15)$$

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.

$$\text{minimize } \sum_{r \in R} |target_r - \sum_{i=0}^{28} r_i| \quad (5.16)$$

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 Open-Source Bibliothek Choco Solver [13] zurückgegriffen. Mit dieser ist die Modellierung von persönlichen und Lehrprojekten möglich.

Aus der Hierarchie der Zyklen, wie in 5.1, lassen sich die Objektklassen entwerfen. Auch wenn die übergeordnete Instanz der Makrozyklus ist, erfolgt die Optimierung erst auf der Ebene des Mesozyklus. Dadurch wird jeder Monat unabhängig der Anderen modelliert und der Einsatz des Choco Solvers auf die Meso-Klasse beschränkt. Gesteuert wird die Gewichtung der Belastungsbereiche in den einzelnen Monaten durch zwei Faktoren: Die Länge des Plans (3, 4 oder 5 Monate) bestimmt die Anzahl der periodisierten Meso-Instanzen im Makrozyklus. Des Weiteren steigt bei Mesozyklen die Gewichtung der wettkampfspezifischen Ausdauer bei Näherung an den Wettkampftermin. Diese Vorgaben werden als Minutenziele bereits im Makrozyklus berechnet und dann an die Meso-Instanzen weitergegeben. Zusätzlich ist die Modellierung in ein Programm eingebettet, das bereits die Ein- und Ausgabe handhabt. Die Interaktion mit dem Programm ist damit unabhängig von der Trainingsplanerstellung.

6.1 Eingaben

Um den Trainingsplan zu individualisieren, erfasst das Programm die Eingaben der Benutzer:innen über eine grafische Oberfläche, die in Anhang A.5 zu sehen ist. Die Wettkampfdisziplin korreliert mit dem Trainingsziel. An der ausgewählten Disziplin macht sich die Gewichtung der Belastungsbereiche fest. Der wöchentliche Trainingsumfang des Plans limitiert die Trainingszeit pro Woche. Über die Anzahl der Stunden lassen sich Rückschlüsse auf die Professionalität des Trainings ziehen. Während im Profibereich der Trainingsumfang über zwölf Stunden beträgt, unterschreiten Amateure diesen Wert üblicherweise. Bei einem Wert bis zu fünf Stunden pro Woche spricht man oft von Freizeitsport, obwohl eine scharfe Trennung der Bereiche nicht möglich ist.

Nicht nur die Wochenstunden, sondern auch die wöchentlichen Trainingstage werden

bei der Erstellung des Plans berücksichtigt. Die Anzahl der Tage steuert die Häufigkeit der Einheiten. Wie in A.2 unter Input aufgeführt, werden folgende Eingaben anhand der grafischen Oberfläche erfasst:

- Dauer des Plans: 3-5 Monate
- Ziel/Disziplin: Straßeneinzelrennen, Rundstrecke, Bergzeitfahrt
- Wettkampftermin: Datum
- wöchentlicher Trainingsumfang: 2-12 Stunden
- wöchentliche Trainingstage: 2-6 Tage

6.2 Klassendiagramm der Modellierung

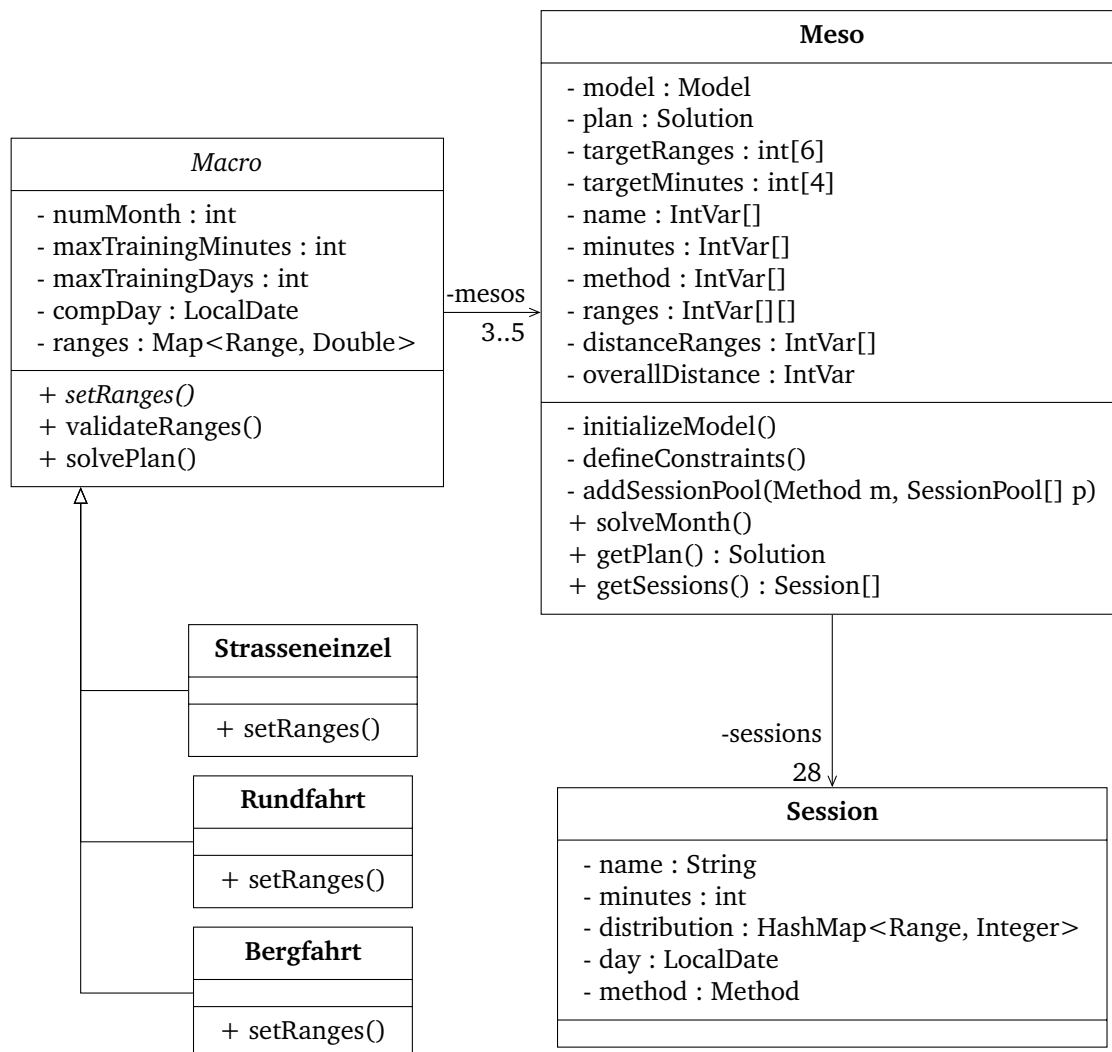


Abb. 6.1.: Klassendiagramm der Modellierung

6.2.1 Macro-Klasse

Diese abstrakte Klasse koordiniert das Erstellen der Mesozyklen und ist der Einstiegspunkt für Operationen auf dem Trainingsplan. Je nach Planlänge wird für jeden Monat eine Meso-Instanz generiert. Über Vererbung werden die verschiedenen Wettkampfdisziplinen realisiert. Die Klasse ist nach dem Entwurfsmuster *Template Method* erstellt. Bei der Instanziierung greift die abstrakte Operation `setRanges()` und definiert für jeden Belastungsbereich die Gewichtung in Prozent. Mit `validateRanges()` wird sichergestellt, dass diese Verteilung zu "1" summiert.

Für die Mesozyklen werden aus dem Prinzip der Periodisierung und der progressiven Belastung bereits die Zielwerte in den einzelnen Wochen berechnet. Die Werte werden in Minuten angegeben und an die Mesozyklen weitergegeben. Indem die Werte entsprechend gerundet werden, wird die Diskretisierung der wöchentlichen Umfänge mit berücksichtigt.

Genauso werden auch die Zielwerte für die Vorgabe der Trainingsminuten in den Belastungsbereichen bestimmt. Die festgelegten Werte aus `setRanges()` legen die durchschnittliche Verteilung an. Für jede Mesoinstanz wird die wettkampfspezifische Belastung im Spitzenbereich SB mit Wettkampfnähe erhöht. Im Gegenzug verringert sich der Anteil des Grundlagenausdauerbereichs GA. Auch diese Vorgaben werden auf eine Genauigkeit von 15 Minuten gerundet. Das deckt sich mit der Diskretisierung der mathematischen Modellierung.

Durch die unabhängige Planung der Mesozyklen ist es möglich, die Lösung der einzelnen Modelle parallelisiert zu lösen. Dies optimiert die Laufzeit und reduziert die Wartezeit für die Benutzer:innen. Die Ergebnisse aus den verschiedenen Prozessen werden im Anschluss zu einem Trainingsplan zusammengetragen.

6.2.2 Meso-Klasse

Gekapselt in eine Klasse wird hier die Modellierung von 28 Tagen vorgenommen. An dieser Stelle kommt der Choko Solver zum Einsatz. Mit dessen `Model`-Objekt werden die Variablen und Constraints des Problems definiert. Für die Variablen werden die zugehörigen `IntVar`-Instanzen `names`, `minutes`, `methods`, `ranges`, `distanceRanges`, `overallDistance` wie im Modell unter 5.2 angelegt. Sie verwalten die Wertebereiche während der Lösungssuche. Über den Index erfolgt der Zugriff auf die Werte der einzelnen Trainingstage.

Die Constraints der Modellierung werden definiert und dem `Model` hinzugefügt. Dabei übernimmt `addSessionPool(Method m, SessionPool[] p)` das Hinzufügen der möglichen Ausprägungen in Abhängigkeit von der Trainingsmethode. Da es sich

bei den Trainingseinheiten aus dem `SessionPool` um sportartspezifische Daten handelt, sind sie außerhalb der `Meso`-Klasse gekapselt. Die Funktion fügt abstrahiert von den konkreten Trainingsmethoden und -einheiten die Constraints dem Modell hinzu. Eine Besonderheit stellt die Trainingseinheit Pause dar. Sie hat für alle Belastungsbereiche einen festen Wert von Null und nur eine mögliche Belegung. Weil die Summe der Werte ($= 0$) die Dauer der Einheit ergibt, konnte ein redundantes Constraint die Laufzeit verbessern. Wenn die Methode der Pause entspricht, wird die Länge auf Null gesetzt.

Außerdem sind die Wertebereiche der Minuten vorher auf die 15-minütigen Abschnitte gesetzt worden, anstatt sie über modulo-Constraints umzusetzen.

Mit `solveMonth()` wird die Lösungssuche angestoßen. Die Lösungen werden nach der Optimierungsvariablen `overallDistance` bewertet und mit einem `Solution`-Objekt des Solvers verwaltet. Um die Modellierung in angemessener Zeit zu ermöglichen, wurde mithilfe des Choko Solvers eine zeitliche Begrenzung von 15 Sekunden für den Lösungsprozess festgelegt. Dadurch kann der Lösungsprozess besser gesteuert werden. Aus den Werten der Lösungsinstanz erstellt die Klasse die passenden `Session`-Objekte für jeden der 28 Tage. Sie werden erst nach der Lösung des Mesozyklus auf Abruf von `getSessions()` erstellt. Die genaue Evaluation der resultierenden Trainingspläne folgt in Kapitel 7.

6.2.3 Session-Klasse

Die `Session`-Objekte vereinfachen die Visualisierung der Trainingseinheiten. Sie enthalten alle charakteristischen Daten eines Trainingstages wie er in 6.4 aufgeführt ist. Diese nehmen aber keinen Einfluss auf die Modellierung selbst, sondern werden aus ihren Ergebnissen erstellt.

6.3 Modularisierung

Die Grundlage dieser Arbeit war eine vorangegangene Bachelorarbeit, die den Laufsport betrifft. Mit Ausblick auf die Erweiterung um das Schwimmtraining, ist es durch eine Kombination der Arbeiten vorstellbar, die Trainingsplanerstellung für Triathletinnen und Triathleten zu optimieren. Aus diesem Grund ist die Arbeit modular gegliedert.

Für viele Sportarten gelten die Trainingsprinzipien der Zyklisierung, Periodisierung, progressiven Belastung und Regeneration. Diese Struktur kann besonders für andere Ausdauersportarten übernommen werden. Die Definition der Belastungsbereiche, Trainingsmethoden und validen Trainingseinheiten ist über Aufzählungstypen (engl.

enumerations) erfolgt. Diese spiegeln die endliche Wertemenge der Variablen wider.

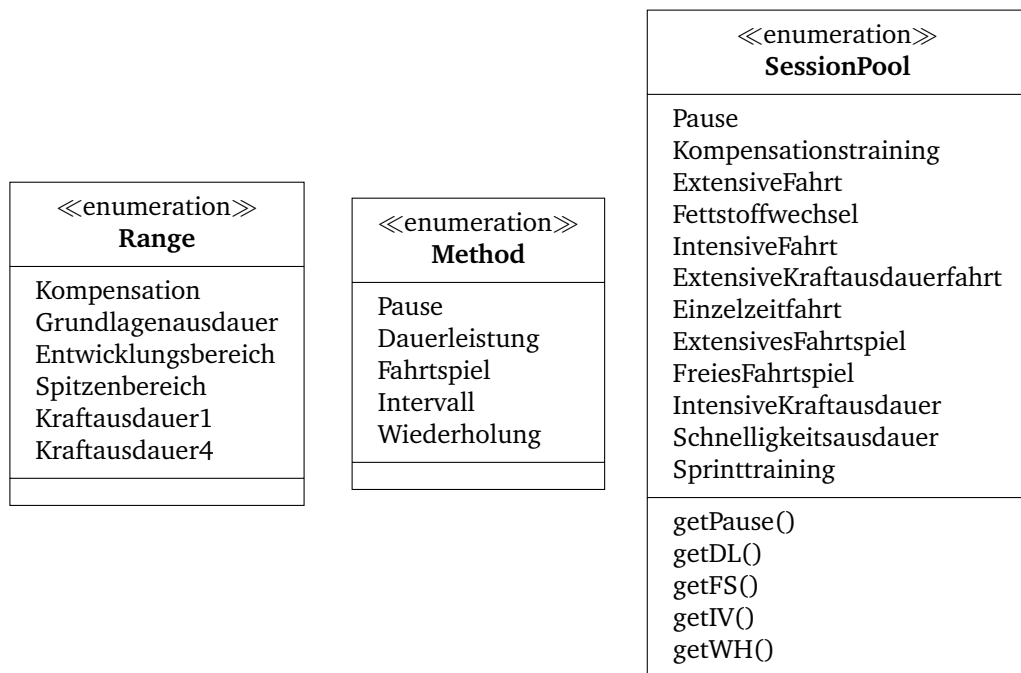


Abb. 6.2.: Klassendiagramm der sportspezifischen Aufzählungstypen

Die Erweiterung des Modells in Range um weitere Belastungsbereiche ist möglich, aber erfordert im SessionPool die Festlegung der Zeitspannen für jede Art von Trainingseinheit. Eher ist davon auszugehen, dass nach der Festlegung für eine Sportart die Belastungsbereiche fest sind und stattdessen der SessionPool um weitere Trainingseinheiten erweitert wird.

Der Vorteil der Kapselung ist hier, dass eine neue Kombination dieser drei Aufzählungstypen genutzt werden kann, um mit dem Modell andere Ausdauersportarten zu lösen. Die konkreten Belastungsbereiche, Methoden oder Trainingseinheiten beeinflussen die Modellierung nicht, greifen aber aufeinander zu. Die Implementierung abstrahiert von der sportartspezifischen Ausprägung der Trainingseinheiten. Die Liste der Trainingsmethoden dient der Zuweisung der Einheiten zu ihrer Methode. Im SessionPool sind die Trainingseinheiten mit ihren möglichen Zeitspannen in den verschiedenen Belastungsbereichen definiert. Dadurch können neue Arten von Trainingseinheiten auch nachträglich mit geringem Aufwand hinzugefügt werden. Die Instanz wird in SessionPool definiert und beim Abruf der Trainingsmethode an die Modellierung weitergegeben. Das Ändern der Modellierungsklasse ist dafür nicht erforderlich.

6.4 Ausgabe

Die Ausgabe des Plans ist über zwei Wege verfügbar: In der Implementierung ist eine grafische Benutzeroberfläche A.5 zur tabellarischen Ansicht der Trainingseinheiten inklusive¹. Nach Erstellung des Plans gibt es außerdem die Möglichkeit diesen als PDF-Dokument abzuspeichern.



Abb. 6.3.: Klassendiagramm der Interaktion mit dem Programm

Die Trainingseinheit wird definiert durch die nachfolgenden Parameter:

- Tag: Datum
- Dauer: Anzahl Minuten
- Trainingsarten: SessionPool A.1
- Trainingsmethode: Method 3.4
- Trainingsbereiche: Range 3.3

Das Klassendiagramm des vollständigen Programms ist im Anhang unter A.4 aufgeführt und besteht aus der Zusammensetzung der obigen Teile. Die **Main**-Klasse hält eine **Macro**-Instanz, die den Trainingsplan berechnet und repräsentiert.

6.5 Testfälle

Um die Modellierung zu beurteilen, wurde eine Testklasse angelegt. Neun Anwendungsfälle (aus den drei Wettkampfdisziplinen mit je geringem, mittlerem und hohem Umfang) dienen hier der Überprüfung. Die Implementierung ist unter **MainTest** verfügbar. Für die Erstellung der Testfälle ist die frei verfügbare Java-Bibliothek JUnit verwendet worden. Die Tests überprüfen auf der Ebene der **Main**-Klasse die Existenz der Trainingseinheiten nach dem Lösungsprozess.² Die erstellten PDF-Dokumente der Pläne sind als Kopie unter dem Verzeichnis `/pdf_2021_02_21` abgelegt. Bei weiteren Ausführungen der Testklasse befinden sich die erstellten Pläne unter `/pdf`.

¹Die im Makrozyklus berechneten Zieldaten werden für die Überprüfung in der Oberfläche angezeigt.

²Es ist auf der Ebene der Oberfläche getestet worden, da es bei der Makroinstanz nicht möglich war, die Terminierung der einzelnen Prozesse aus der Parallelisierung abzuwarten. Für diese geringe Anzahl von Fällen sind die Kosten für die Erstellung der grafischen Oberfläche jedoch überschaubar.

Evaluation

Die neun Trainingspläne aus den obigen Testfällen werden für die Evaluation der Arbeit herangezogen. Anhand derer werden die Ergebnisse der Modellierung nach Anwendbarkeit und Individualität bewertet.

7.1 Anwendungsfälle

Die Testfälle sind so gewählt, dass die Zielgruppe der Pläne in möglichst breitem Spektrum abgedeckt wird. Sowohl Freizeitsportler:innen als auch Amateursportler:innen sollen im Umfang ihrer voraussichtlichen Trainingszeiten abgebildet werden. Die Tests sind mit allen drei Wettkampfdisziplinen durchgeführt worden.

Ein Testfall mit niedrigem Umfang limitiert den Plan auf zwei wöchentliche Tage und vier wöchentliche Stunden. Bei einem mittleren Umfang sind es acht Stunden pro Woche verteilt auf vier Trainingstage. Die höchste Eingabemöglichkeit, die zwölf Stunden und sechs Tagen entspricht, wird im umfangreichsten Testfall abgebildet. Exemplarisch ist der Rundstrecken-Trainingsplan mit mittlerem Umfang dem Anhang der Arbeit unter A.5 beigelegt.¹ Der vollständige Plan umfasst alle Einheiten über drei Monate hinweg.

7.2 Evaluation der Anwendbarkeit

Die Anwendbarkeit des Plans ist garantiert durch die zeitliche Limitierung des Lösungsprozesses. Das bedeutet zwar, dass die Distanz zu den Belastungsbereichen nicht immer auf Null reduziert wird, bewahrt aber die Praktikabilität des Systems. Die Testfälle bestätigen, dass nach der Terminierung auch ein Trainingsplan erstellt worden ist. Die Abweichungen der Trainingspläne sind in Tabelle 7.1 aufgeführt.

Zielgruppe	Straßeneinzel	Rundstrecke	Bergfahrt
niedriger Umfang	0,0 %	0,0 %	0,0 %
mittlerer Umfang	4,67 %	4,03 %	7,67 %
hoher Umfang	5,97 %	3,5 %	8,47 %

Tab. 7.1.: Testergebnisse der Gesamtabweichung von Trainingsminuten anhand der neun Anwendungsfälle

¹Die weiteren Pläne sind als Ergebnis der Testfälle im oben genannten Verzeichnis zu finden.

Aus den Messwerten geht hervor, dass die durchschnittliche Distanz der gesamten Belastungsbereiche in einem Testfall 3,81 Prozent beträgt. Pro Belastungsbereich weicht der Trainingsplan durchschnittlich um circa 0,6 Prozent vom Zielwert ab. Im Hinblick auf den Einsatzzweck ist die Präzision von über 99 Prozent hinreichend groß, da es sich bei den Zielwerten der Bereiche bereits um Schätzungen handelt und sie nur Tendenzen der Leistungsprofile darstellen. Es kann davon abgesehen werden, exakte Ergebnisse zu fordern. Stattdessen werden kleine Abweichungen der Lösung gegen die Performance abgewägt, um ein anwendbares System zu erhalten.

Eine mögliche Ursache für die Abweichungen ist das Runden der wöchentlichen Vorgaben im Umfang und in den einzelnen Belastungsbereichen. Die Diskretisierung impliziert die Ziele in der gleichen Genauigkeit zu definieren. Zu untersuchen bleibt, ob inkonsistente Vorgaben daraus entstehen.

Die größte Abweichung tritt bei hohen Trainingsumfängen ein, da die flexible Definition der möglichen Trainingseinheiten den Suchraum vergrößert. Je größer der Umfang, desto weniger Tage sind mit Pausen belegt. Diese Trainingsart ist als einzige nicht dynamisch definiert. Andere Trainingsarten erlauben mehr Kombinationsmöglichkeiten, sodass die Optimierung aufwändiger ist.

Da die Angaben über die Stunden und Tage stark in Zusammenhang stehen, kann eine komplementäre Belegung (hohe Anzahl an Stunden bei wenigen Trainingstagen oder wenige Stunden auf viele Tage verteilt) verantwortlich für höhere Abweichungen sein. Auch hier sichert die zeitliche Begrenzung des Lösungsprozesses auf 15 Sekunden die Ausführbarkeit des Programms.

7.3 Evaluation der Individualität

Die Individualität des Plans ist gegeben durch die fünf Faktoren der Eingabe. Das Wettkampfdatum ist für die Modellierung zunächst unerheblich und kommt erst bei der Visualisierung der Trainingseinheiten zum Tragen. Die anderen vier Eingaben ermöglichen den Benutzer:innen eine Abstimmung auf die persönlichen Trainingsziele. Die Zielgruppe ist über den Umfang abgedeckt, der mit hoher Flexibilität angegeben werden kann. Wie aus den Testfällen zu entnehmen, generiert das Programm für die gesamte Zielgruppe Trainingspläne. Die individuellen Bedürfnisse sind mit diesem Programm in der Trainingsplanerstellung berücksichtigt.

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 Anforderungen definiert worden. Der Plan beachtet die Prinzipien der Zyklisierung, Periodisierung und progressiven Belastung. Er plant die Aufbauperiode in Abhängigkeit der angegebenen Wettkampfdisziplin. Welche Belastungsbereiche 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 Belastungsbereichen. Das mathematische Modell optimiert die Auswahl der Einheiten, sodass die Anteile der Belastungsbereiche im Plan denen des Trainingsziels entsprechen. Begrenzt wird der wöchentliche Trainingsumfang in Stunden und Tagen. Auch die Wahl der Trainingsmethoden nimmt hierbei Einfluss, um die Variation im Trainingsplan zu gewährleisten.

Die Modellierung ist in eine eigenständige Anwendung umgesetzt worden. Eine übersichtliche grafische Benutzeroberfläche stellt die Funktionen zur Verfügung. Auf Ebene der Mesozyklen parallelisiert die Software das Lösen der einzelnen Monate. Zusammengesetzt ergeben diese den vollständigen Trainingsplan der Aufbauperiode. Das Programm listet die Trainingseinheiten nach der Berechnung und ermöglicht es, sie als PDF-Dokument zu exportieren.

Anhand beispielhafter Pläne bestätigt sich die Praktikabilität der Anwendung. Die gemessenen Abweichungen in den einzelnen Bereichen sind vertretbar, denn die Diskrepanz zum Zielwert beträgt pro Belastungsbereich unter 1% der Trainingsminuten. Die Anwendung terminiert in angemessener Zeit und deckt die Zielgruppe aus Freizeitsportler:innen und Amateursportler:innen erfolgreich ab.

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 der Einfluss des Alters bzw. des Trainingsalters [9, S. 181], des Geschlechts und der Leistungsgruppe [12, S. 173]. Nach dem Prinzip der Superkompensation wäre es wünschenswert die Trainingseinheiten inhaltlich aufeinander abzustimmen, in denen die Blöcke einer Woche definiert werden. Diese fokussieren dann einen bestimmten Belastungsbereich. Für den Grundlagenausdauerbereich sind zum Beispiel Blöcke von drei bis fünf Tagen vorgesehen.

Darüber hinaus ist sogar ein vorangestellter Leistungstest vorstellbar. Mit dieser Art der Leistungsdiagnostik erfasst man die aktuelle Leistungsfähigkeit in den einzelnen Belastungsbereichen. Defizite können – wie die Wettkampfdisziplin – Einfluss auf die Priorisierung der Bereiche nehmen. Das hohe Maß an Individualität, das dadurch gewonnen wird, muss gegen den erhöhten Nutzeroaufwand abgewogen werden.

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 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 dies wiederum bei den Empfehlungen zur 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.

8.2.2 Erweiterung

Durch den modularen Aufbau des Programmcodes bietet die Arbeit eine Grundlage für die Weiterentwicklung. Denkbar sind andere Ausdauersportarten und die Ausweitung der Trainingsziele. Zudem ist die Erweiterung der Makrozyklen auf die Vorbereitungsperiode und Übergangsperiode möglich. Von Vorteil ist, dass Macro bereits als abstrakte Klasse definiert ist. Bei der Erstellung der Meso-Instanzen definiert man die Zielwerte entsprechend der Periode anders. Weitere Änderungen an der Implementierung würden nur das Bereitstellen der Optionen über die Oberfläche betreffen. Auf diese Weise wären die Bausteine für einen Jahresplan vorbereitet.

Die Individualität des Plans kann mit der Auswahl an Wochentagen gesteigert werden. Die Benutzer:innen limitieren die Wochentage, an denen Einheiten eingeplant werden können. Die übrigen Tage müssen dann automatisch mit Pause vorbelegt sein. Das ermöglicht die bessere Abstimmung des Trainings auf die persönlichen Zeitvorgaben.

8.2.3 Performance

Diese Arbeit beschränkt die Erstellung des Plans auf maximal 15 Sekunden. Dieses Limit wurde zu der Modellierung hinzugefügt, um ein anwendbares System zu erhalten. Durch die zeitliche Begrenzung des Lösungsprozesses toleriert die Lösung auch eine minimale Abweichung von den Belastungsbereichen. Obwohl die Werte in einem hinreichend kleinen Rahmen sind, kann das bei der Weiterentwicklung des Programms zu Problemen führen.

Eine eigens definierte Suchstrategie kann dem entgegenwirken. Mit der Flexibilität des freien Fahrtspiels kann die Distanz verringert werden. Eine geeignete Strategie würde auch die aktuelle Implementierung begünstigen, da sie die Laufzeit der Lösungssuche verkürzen kann. Sowohl eine Steigerung der Präzision als auch die Minderung der Wartezeit wären damit möglich.

8.2.4 Zugänglichkeit

Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf der 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 Server. Im Anhang A.7 wird eine Möglichkeit für eine Schnittstelle über ein JSON-Objekt dargestellt.

Literatur

- [2]Ken Arnold, James Gosling und David Holmes. *The Java programming language*. Addison Wesley Professional, 2005 (siehe S. 23).
- [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. 9, 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, 9–13, 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. 15).
- [17]Patric Vormstein. *Das automatische Erstellen von optimalen Trainingsplänen im Laufsport*. 2016 (siehe S. 5).

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. 23).

Abbildungsverzeichnis

3.1	Relevanz der Belastungsbereiche von Wettkampfdisziplinen nach [12, S. 30]	12
5.1	Schema der Modellierung mit hierarchischer Struktur (siehe A.2) . . .	17
6.1	Klassendiagramm der Modellierung	24
6.2	Klassendiagramm der sportspezifischen Aufzählungstypen	27
6.3	Klassendiagramm der Interaktion mit dem Programm	28
A.1	Schema anhand hierarchischer Zyklisierung	42
A.2	Klassendiagramm der vollständigen Anwendung	44
A.3	Bildschirmaufnahme der grafischen Oberfläche	45

Tabellenverzeichnis

3.1	Trainingseinheiten mit der Dauerleistungsmethode	13
3.2	Trainingseinheiten mit der Fahrtspielmethode	14
3.3	Trainingseinheiten mit der Intervallmethode	14
3.4	Trainingseinheiten mit der Wiederholungsmethode	14
7.1	Testergebnisse der Gesamtabweichung von Trainingsminuten anhand der neun Anwendungsfälle	29
A.1	Einheiten aus allen Trainingsmethoden	41

Anhang

A.1 Übersicht der Trainingseinheiten

Die Zeitspannen, die ein Belastungsbereich einnehmen darf sind in Minuten angegeben.

	Einheit	KB	GA	EB	SB	K123	K45
1	Kompensationsfahrt	15-180					
2	Extensive Fahrt	30-300					
3	Fettstoffwechselfahrt	60-300					
4	Intensive Fahrt	30-60 15-60					
5	Extensive Kraftausdauerfahrt	30-60 15-150					
6	Einzelzeitfahrt	30-60 15-60					
7	Extensives Fahrtspiel	15-240 15-240					
8	Intensives Fahrtspiel	15-300 15-300 15-300 15-180 15-180					
9	Intensive Kraftausdauerfahrt	30-90 15-120					
10	Schnelligkeitsausdauer	60-180 15-45					
11	Sprinttraining	15-30 15-60					

Tab. A.1.: Einheiten aus allen Trainingsmethoden

A.2 Schema anhand hierarchischer Zyklisierung

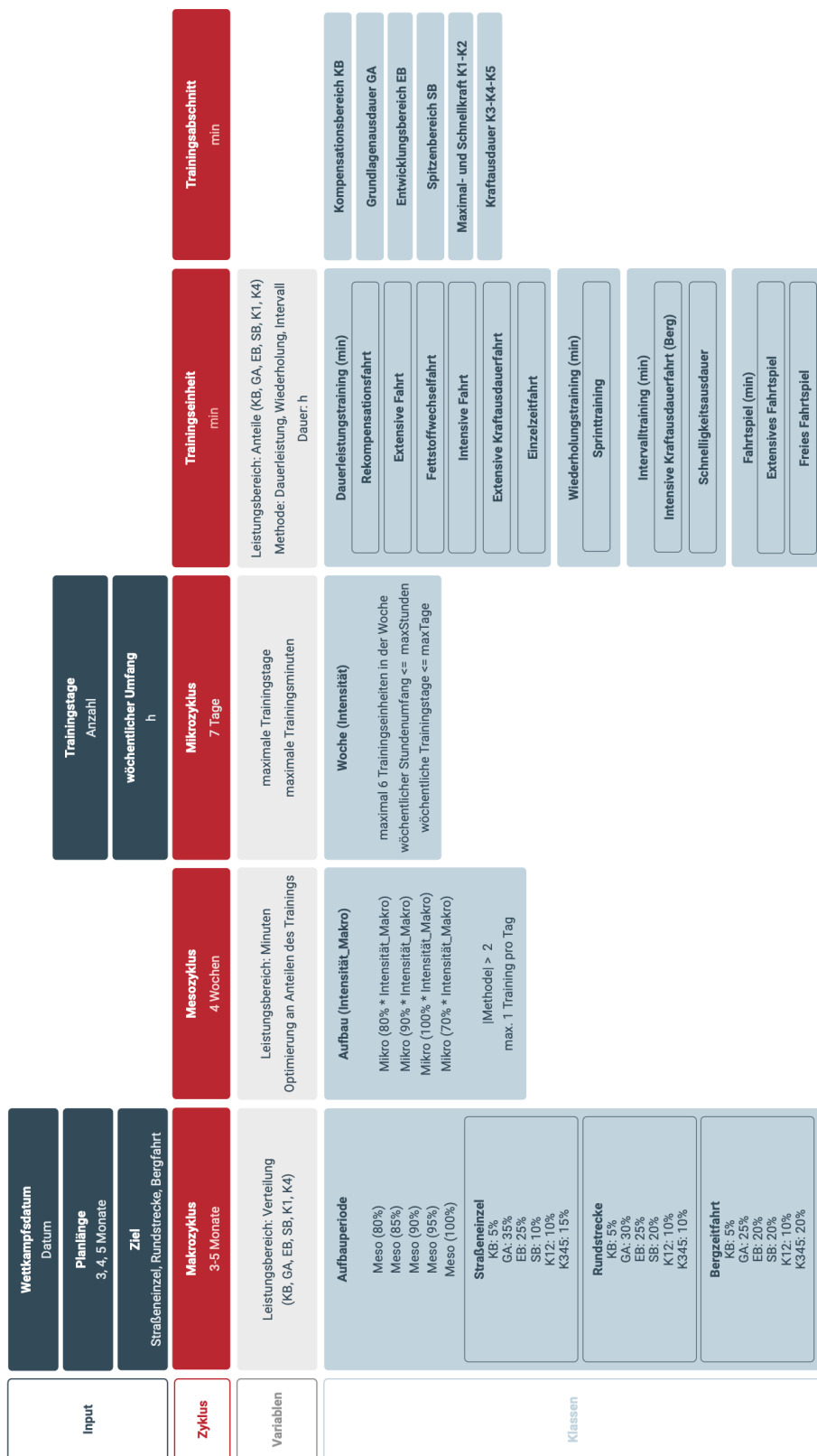


Abb. A.1.: Schema anhand hierarchischer Zyklisierung

A.3 Mathematische Modellierung

Für jeden Tag $i \in [0, 27]$ gilt:

$$duration_i \bmod 15 = 0$$

$$r_i \bmod 15 = 0, \forall r \in R$$

$$\sum_{r \in R} r_i = duration_i$$

$$|\{method_i = m\}| \geq 2, \forall m \in M$$

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

$$(method_i = \text{Fahrtspiel}) \Rightarrow t_i = \begin{aligned} & (0, \llbracket 15, 240 \rrbracket, \llbracket 15, 240 \rrbracket, 0, 0, 0) \\ & \vee (0, \llbracket 15, 300 \rrbracket, \llbracket 15, 300 \rrbracket, \llbracket 15, 300 \rrbracket, \llbracket 0, 180 \rrbracket, \llbracket 15, 180 \rrbracket) \end{aligned}$$

$$(method_i = \text{Dauerleistung}) \Rightarrow t_i = \begin{aligned} & (\llbracket 15, 180 \rrbracket, 0, 0, 0, 0, 0) \\ & \vee (0, \llbracket 30, 300 \rrbracket, 0, 0, 0, 0) \\ & \vee (0, \llbracket 60, 300 \rrbracket, 0, 0, 0, 0) \\ & \vee (0, \llbracket 30, 60 \rrbracket, \llbracket 15, 60 \rrbracket, 0, 0, 0) \\ & \vee (0, \llbracket 30, 60 \rrbracket, 0, 0, \llbracket 15, 150 \rrbracket, 0) \\ & \vee (0, \llbracket 30, 60 \rrbracket, 0, \llbracket 15, 60 \rrbracket, 0, 0) \end{aligned}$$

$$(method_i = \text{Intervall}) \Rightarrow t_i = \begin{aligned} & (0, \llbracket 30, 90 \rrbracket, 0, 0, 0, \llbracket 15, 120 \rrbracket) \\ & \vee (0, \llbracket 60, 180 \rrbracket, 0, \llbracket 15, 45 \rrbracket, 0, 0) \end{aligned}$$

$$(method_i = \text{Wiederholung}) \Rightarrow t_i = (0, \llbracket 15, 30 \rrbracket, 0, \llbracket 15, 60 \rrbracket, 0, 0)$$

Für jede Woche $w \in [0, 3]$ gilt:

$$\sum_{j=7*w}^{7*w+6} duration_j \leq maxminutes_w$$

$$\sum_{j=7*w}^{7*w+6} (duration_j > 0) \leq maxdays$$

$$\text{minimize } \sum_{r \in R} |target_r - \sum_{i=0}^{28} r_i|$$

A.4 Klassendiagramm

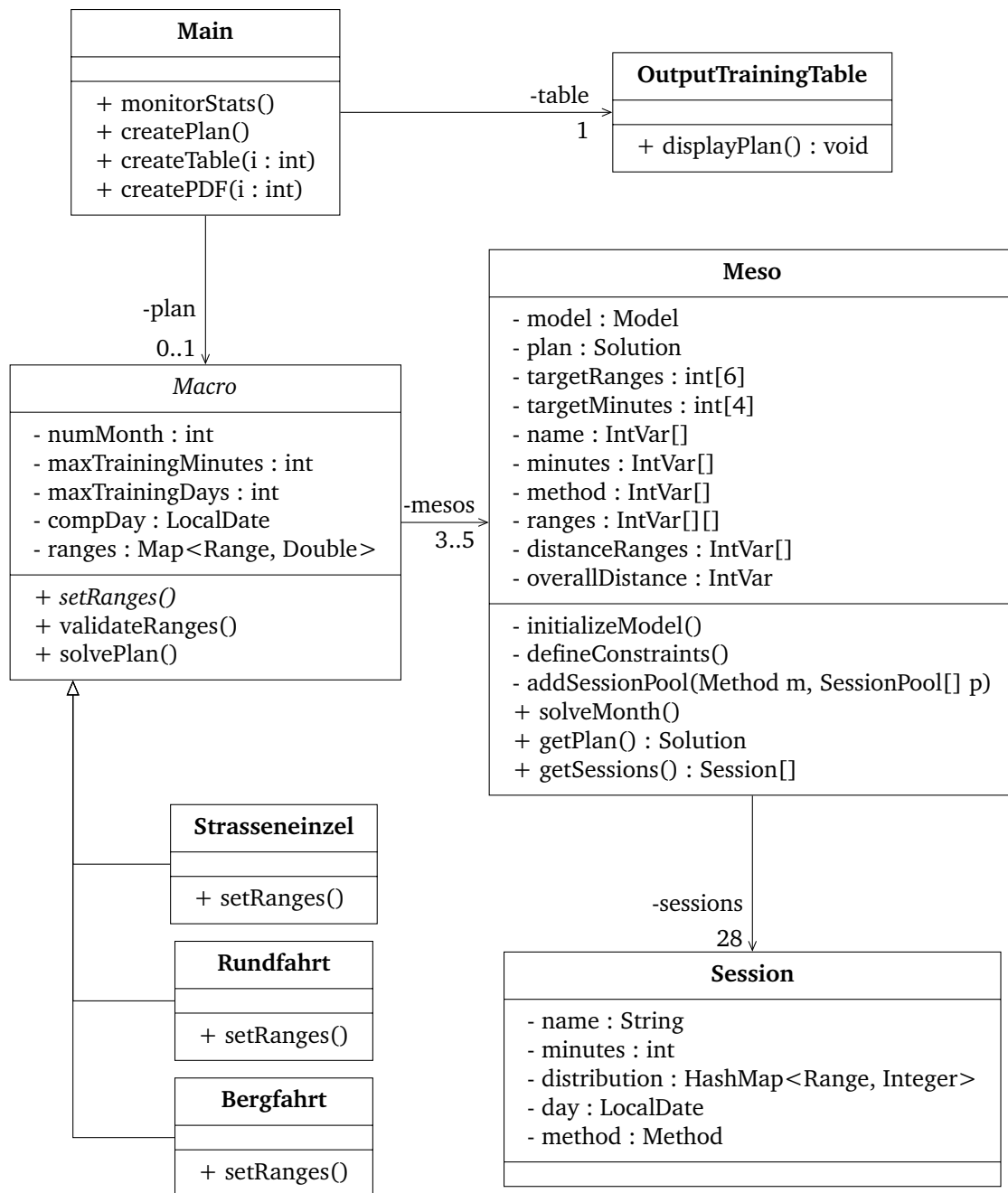


Abb. A.2.: Klassendiagramm der vollständigen Anwendung

A.5 Grafische Benutzungsoberfläche

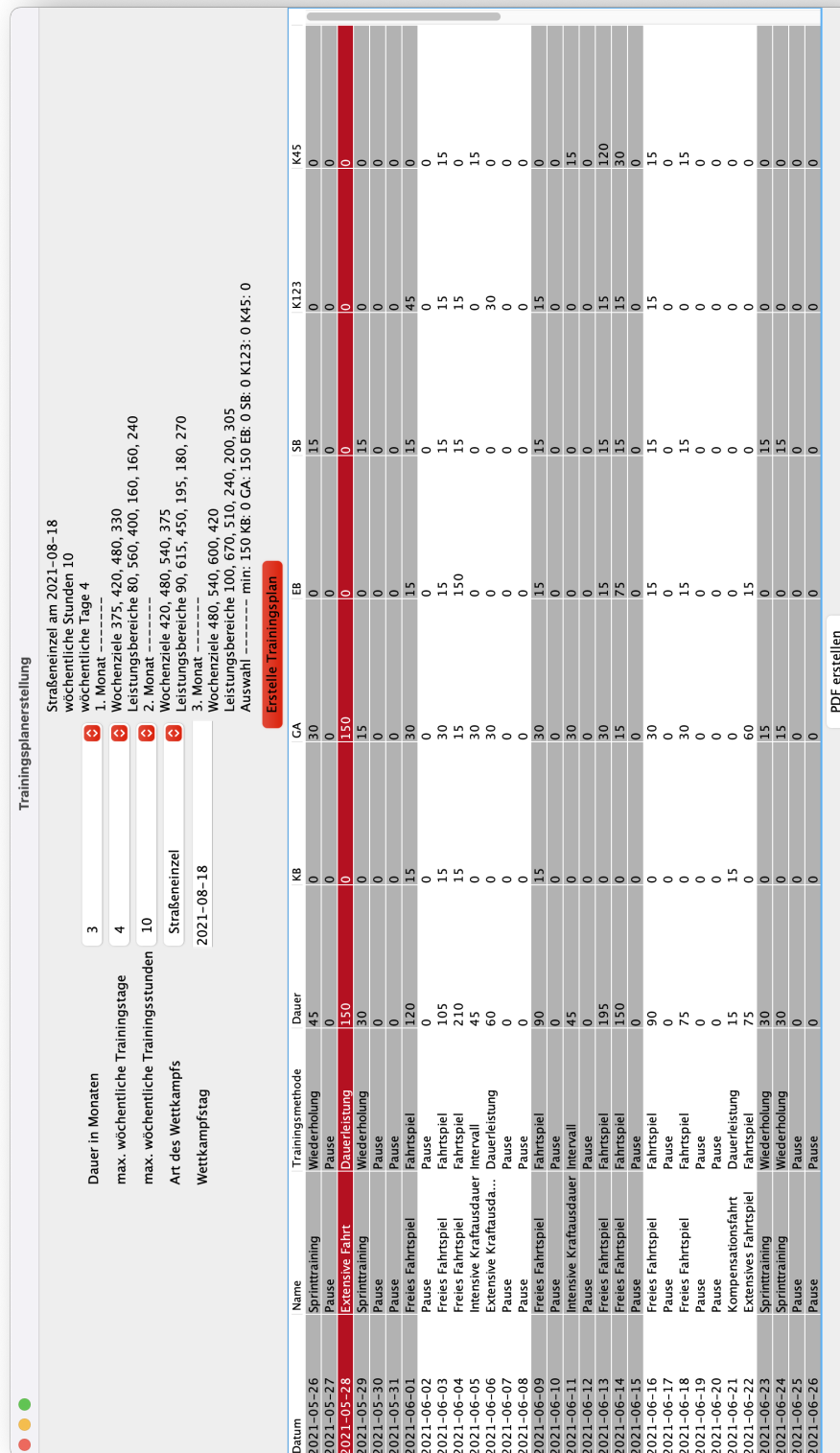


Abb. A.3.: Bildschirmaufnahme der grafischen Oberfläche

A.6 Beispiel Trainingsplan

Rundfahrt am 2021-08-21

wöchentliche Stunden 8

wöchentliche Tage 4

1. Monat -----

Wochenziele 300, 345, 375, 255

Belastungsbereiche 60, 375, 315, 255, 120, 120

2. Monat -----

Wochenziele 345, 375, 420, 300

Belastungsbereiche 60, 405, 360, 300, 135, 135

3. Monat -----

Wochenziele 375, 420, 480, 330

Belastungsbereiche 75, 435, 390, 345, 150, 150

Datum	Name	Trainingsmethode	Dauer	KB	GA	EB	SB	K123	K45
2021-05-29	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-30	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-31	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	105	0	15	15	45	15	15
2021-06-01	Intensive Kraftausdauer	Intervall	60	0	30	0	0	0	30
2021-06-02	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	75	0	15	15	15	15	15
2021-06-03	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-04	Fettstoffwechselfahrt	Dauerleistung	60	0	60	0	0	0	0
2021-06-05	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-06	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-07	Extensive Fahrt	Dauerleistung	30	0	30	0	0	0	0
2021-06-08	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-09	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	135	0	60	15	15	15	30
2021-06-10	Intensive Kraftausdauer	Intervall	75	0	60	0	0	0	15
2021-06-11	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	105	0	15	15	45	15	15
2021-06-12	Kompensationsfahrt	Dauerleistung	45	45	0	0	0	0	0
2021-06-13	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-14	Extensives Fahrtspiel	Fahrtspiel	30	0	15	15	0	0	0
2021-06-15	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-16	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-17	Sprinttraining	Wiederholung	45	0	15	0	30	0	0
2021-06-18	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	255	0	60	135	15	45	0
2021-06-19	Kompensationsfahrt	Dauerleistung	15	15	0	0	0	0	0
2021-06-20	Sprinttraining	Wiederholung	75	0	15	0	60	0	0
2021-06-21	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	60	0	15	15	15	15	0
2021-06-22	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-23	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-24	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-25	Extensives Fahrtspiel	Fahrtspiel	105	0	15	90	0	0	0
2021-06-26	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0

2021-06-27	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-06-28	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	90	0	15	15	45	15	0
2021-06-29	Intensive Kraftausdauer	Intervall	45	0	30	0	0	0	15
2021-06-30	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	150	0	15	15	30	75	15
2021-07-01	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-02	Fettstoffwechselfahrt	Dauerleistung	60	0	60	0	0	0	0
2021-07-03	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-04	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-05	Extensive Fahrt	Dauerleistung	30	0	30	0	0	0	0
2021-07-06	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-07	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	210	0	75	15	60	30	30
2021-07-08	Intensive Kraftausdauer	Intervall	75	0	30	0	0	0	45
2021-07-09	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	45	0	15	15	15	0	0
2021-07-10	Kompensationsfahrt	Dauerleistung	45	45	0	0	0	0	0
2021-07-11	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-12	Extensives Fahrtspiel	Fahrtspiel	165	0	15	150	0	0	0
2021-07-13	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-14	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-15	Sprinttraining	Wiederholung	75	0	15	0	60	0	0
2021-07-16	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	105	0	60	15	15	0	15
2021-07-17	Kompensationsfahrt	Dauerleistung	15	15	0	0	0	0	0
2021-07-18	Sprinttraining	Wiederholung	75	0	15	0	60	0	0
2021-07-19	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	120	0	15	60	15	15	15
2021-07-20	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-21	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-22	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-23	Extensives Fahrtspiel	Fahrtspiel	90	0	15	75	0	0	0
2021-07-24	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-25	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-26	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	120	0	15	75	15	15	0
2021-07-27	Intensive Kraftausdauer	Intervall	45	0	30	0	0	0	15
2021-07-28	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	150	0	15	15	15	90	15
2021-07-29	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-07-30	Fettstoffwechselfahrt	Dauerleistung	60	0	60	0	0	0	0
2021-07-31	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-01	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-02	Extensive Fahrt	Dauerleistung	30	0	30	0	0	0	0
2021-08-03	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-04	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	180	0	60	15	15	15	75
2021-08-05	Intensive Kraftausdauer	Intervall	75	0	60	0	0	0	15
2021-08-06	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	135	0	15	15	75	15	15
2021-08-07	Kompensationsfahrt	Dauerleistung	60	60	0	0	0	0	0

2021-08-08	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-09	Extensives Fahrtspiel	Fahrtspiel	30	0	15	15	0	0	0
2021-08-10	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-11	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-12	Sprinttraining	Wiederholung	30	0	15	0	15	0	0
2021-08-13	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	285	0	60	165	60	0	0
2021-08-14	Kompensationsfahrt	Dauerleistung	15	15	0	0	0	0	0
2021-08-15	Sprinttraining	Wiederholung	60	0	30	0	30	0	0
2021-08-16	Freies Fahrtspiel	Fahrtspiel	120	0	15	15	60	15	15
2021-08-17	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-18	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0
2021-08-19	Pause	Pause	0	0	0	0	0	0	0

A.7 Schnittstelle im JSON-Format

```
1 {
2   "num_months": 3,
3   "competition": "singleday",
4   "sport": "racing bike",
5   "competition_date": 22.02.2022,
6   "sessions": [
7     {
8       date: 01.02.2022,
9       minutes: 60,
10      method: "intervall",
11      name: "sprinttraining",
12      sections: [
13        {
14          length: 45,
15          range: "GA"
16        },
17        {
18          length: 5,
19          range: "EB"
20        },
21        ...
22      ]
23    }
24  ],
25 }
```


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 2021

Jene-Julea Kabro

